



**GOBIERNO de
GUATEMALA**
DR. ALEJANDRO GIAMMATTEI

Autoridad para el Manejo
Sustentable de la Cuenca y
del Lago de Amatitlán

**INFORME MENSUAL DE
ACTIVIDADES
ENERO 2022**

División de Control, Calidad
Ambiental y Manejo de Lagos





**GOBIERNO de
GUATEMALA**
DR. ALEJANDRO GIAMMATTEI

Autoridad para el Manejo
Sustentable de la Cuenca y
del Lago de Amatitlán

INFORME MENSUAL DE ACTIVIDADES, ENERO 2022
DIVISIÓN DE CONTROL, CALIDAD AMBIENTAL Y MANEJO DE LAGOS

Elaborado por
Ing. José Diego Morales Ortega

Con el apoyo de:

Lic. Ferdiner Ulises González Ortiz: Especialista en análisis fisicoquímicos

Lic. Herbert Ismatul: Especialista en cromatografía de gases

M.A. Julio Roberto Juárez: Especialista en absorción atómica.

Ing. Alexis Canteros: Especialista en monitoreo de aguas

Sra. Melanie Fraatz de Mendía: Asistente de División

Lic. Moisés López: Especialista en Biología

Faviola Arevalo, técnico de Laboratorio

Pedro Mendizabal, técnico de Monitoreo

Cielo Selvas, técnico de Monitoreo



Contenido

RESUMEN	4
CAPÍTULO I: INFORME DE RÍOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN	5
Datos registrados de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán	7
Parámetros físicoquímicos de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán.....	9
Parámetros <i>in situ</i>	9
Nutrientes.....	14
Otros análisis	17
Parámetros biológicos de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán.	20
CAPÍTULO II: INFORME DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL LAGO DE AMATITLÁN	21
Parámetros Físicoquímicos de los puntos de monitoreo establecidos en el Lago de Amatitlán.....	25
Parámetros <i>in situ</i>	25
Nutrientes.....	30
Otros análisis	33
Parámetros biológicos de los puntos de monitoreo establecidos en el Lago de Amatitlán	36
CONCLUSIONES SOBRE EL ESTADO DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA CUENCA Y EL LAGO DE AMATITLÁN	37
REGISTRO FOTOGRÁFICO	40
CAPÍTULO III: OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS POR LA DIVISIÓN DE CONTROL AMBIENTAL	41
REFERENCIAS	42

RESUMEN

El lago de Amatitlán es el principal reservorio de agua cercano a la ciudad capital. Este presenta un área superficial de 15 Km² y una profundidad media de 18 m. Su principal afluente natural es el río Villalobos al cual confluyen los ríos tributarios que se distribuyen por 14 municipios que conforman la Cuenca del Lago de Amatitlán. La distribución de los afluentes del río Villalobos a lo largo de los poblados ha permitido que los mismos sean utilizados como receptores de aguas residuales tanto domésticas como industriales, convirtiendo a este afluente en un reservorio cargado de contaminantes químicos y biológicos que, durante su recorrido y al llegar al Lago, afectan las características fisicoquímicas y ecológicas naturales.

Adicional a lo anterior, el crecimiento urbano ha provocado la degradación de los bosques y ecosistemas de la cuenca, impermeabilizando los suelos y causando pérdida de diversidad biológica, lo que genera un impacto también en la capacidad del ecosistema para recuperarse, y en la calidad y cantidad de agua disponible para los distintos usos y para la naturaleza.

Por lo anterior, la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, a través de la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos está realizando el levantamiento de la línea base de las características ecológicas y biológicas de la cuenca, así como también el monitoreo constante de las propiedades fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del agua del Lago de Amatitlán y sus afluentes, para establecer el estado en que se encuentran tanto el Lago como sus ríos tributarios, y poder brindar recomendaciones para el manejo y recuperación de los cuerpos de agua y de la cuenca.

Para lograr lo anteriormente descrito, durante enero del 2022 se realizaron las siguientes actividades:

- Monitoreo y análisis de la calidad de agua de siete de los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán.
- Análisis de calidad de agua utilizando indicadores biológicos (macroinvertebrados) colectados en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán.
- Monitoreo y análisis de la calidad de agua del lago de Amatitlán.

En el presente informe se presentan los resultados y análisis de la calidad de agua de los principales ríos tributarios en la cuenca y del lago de Amatitlán.



CAPÍTULO I: INFORME DE RÍOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN

La Cuenca del Lago de Amatitlán, se caracteriza por presentar más de 550 Km de cauce fluvial, representado por 18 ríos de diferente categoría. De estos más del 25 % son permanentes, transportando principalmente las aguas residuales (ordinarias, especiales y mixtas) y desechos sólidos que drenan y se vierten de los poblados circunvecinos.

La Autoridad del Lago de Amatitlán realiza el monitoreo y el análisis mensual de calidad de agua de los siguientes ríos en la parte baja: río Pampumay, río El Frutal/Zacatal, río Pansalic/Panchiguajá, río Pinula, río Platanitos, río San Lucas y río Villalobos (cuadro 1 y figura 1). El monitoreo consiste en la determinación de caudal, parámetros fisicoquímicos (*in situ* y en análisis de laboratorio), metales pesados, grasas y aceites, indicadores biológicos (macroinvertebrados) y análisis microbiológicos.

Cuadro 1. Principales ríos tributarios de la Cuenca del lago de Amatitlán.

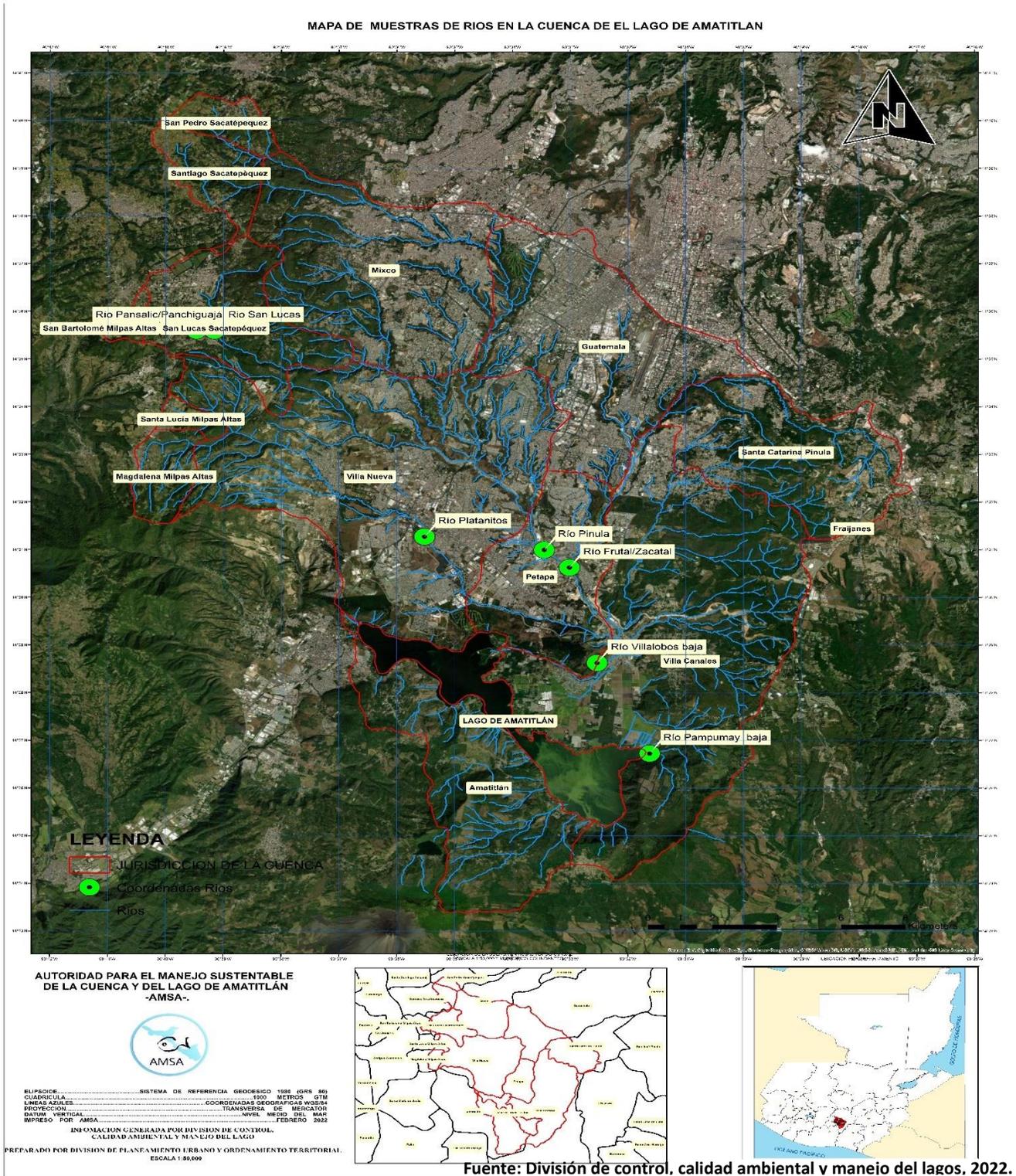
Punto de Muestreo	Coordenadas	
Río San Lucas	14°35'35.7"	90°39'09.3"
Río Pansalic/Panchiguajá	14°35'21.7"	90°21'48.2"
Río Platanitos	14°31'16.4"	90°35'31.1"
Río Pinula	14°30'59.8"	90°33'26.8"
Río Frutal/Zacatal	14°30'37.6"	90°33'00.6"
Río Villalobos baja	14°28'23.1"	90°32'31.9"
Río Pampumay baja	14°26'43.5"	90°31'37.3"

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

Para cada uno de los puntos muestreados en ríos se realizó el análisis de los siguientes parámetros:

- *In situ*: caudal, potencial de hidrógeno, conductividad, oxígeno disuelto, profundidad promedio, sólidos disueltos totales, temperatura, salinidad.
- Fisicoquímicos: color aparente, color verdadero, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nutrientes (fósforo total, ortofosfatos, nitrógeno de amonio, nitrógeno de nitrato, nitrógeno de nitrito, nitrógeno total), sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, turbiedad, metales pesados, contaminantes emergentes, grasas y aceites.
- Microbiológicos: coliformes fecales.
- Biológicos: macroinvertebrados.

Figura 1: Puntos de muestreo del monitoreo de calidad del agua de los principales ríos de la Cuenca del Lago de Amatitlán.



Datos registrados de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán

Cuadro 2: Parámetros *in situ* de los ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán, Enero 2022.

Fecha	Hora	Sitio	Altitud (msnm)	Caudal (L/s)	pH (U)	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Salinidad (%)	TDS (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Porcentaje de saturación de oxígeno (%)
10/01/2022	10:45	Río Villalobos Baja	1,212	1,297.00	7.76	20.05	989	0.40	494	2.19	27.40
10/01/2022	13:00	Río Pampumay (baja)	1,199	39.68	7.90	21.30	229	0.00	115	5.23	67.60
12/01/2022	09:52	Río San Lucas	1,978	50.04	7.99	16.50	952	0.40	477	1.45	18.30
12/01/2022	12:30	Río Pansalic/Panchiguajá	1,409	240.90	7.63	19.60	924	0.40	462	0.24	3.30
12/01/2022	14:17	Río Platanitos	1,345	167.30	7.79	21.00	922	0.40	461	0.66	8.20
11/01/2022	10:30	Río Pinula (baja)	1,228	655.30	7.85	23.00	1117	0.50	559	0.41	5.30
11/01/2022	12:30	Río Frutal Zacatal	1,230	756.54	7.74	24.50	1057	0.50	528	2.50	10.10

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lagos, 2022.

Cuadro 3: Parámetros fisicoquímicos de los ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán, Enero 2022.

Sitio	Color Aparente (U Pt-Co)	Color Verdadero (U Pt-Co)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Nitrógeno de Amonio (mg/L)	Nitrógeno de Nitrato (mg/L)	Nitrógeno de Nitrito (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)
Río Villalobos Baja	1124.0	118.0	120.0	290.0	4.2938	2.2188	21.3335	0.1122	0.0067	29.9308
Río Pampumay (baja)	55.0	20.0	3.0	27.0	0.0778	0.0385	0.0088	0.2043	0.0019	0.8112
Río San Lucas	2220.0	133.0	480.0	581.0	7.3729	3.7886	27.6872	0.2257	0.0058	53.6109
Río Pansalic/Panchiguajá	2140.0	184.0	400.0	670.0	6.4579	2.4634	24.1911	0.2280	0.0070	47.0578
Río Platanitos	2790.0	132.0	400.0	824.0	6.4154	2.6619	25.4376	0.1411	0.0104	37.5938
Río Pinula (baja)	3370.0	131.0	300.0	526.0	5.6726	2.5285	27.1405	0.1100	0.0094	47.3975
Río Frutal Zacatal	1392.0	132.0	170.0	262.0	4.7343	2.3853	27.4072	0.1070	0.0051	30.1782

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo del lagos, 2022.

Cuadro 4: Parámetros fisicoquímicos y análisis microbiológicos de los ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán, Enero 2022.

Sitio	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Sólidos sedimentables (mL/L)	Turbiedad (NTU)	Coliformes fecales (UFC/100 mL)	E. coli (UFC/100 mL)	Grasas y Aceites (mg/L)
Río Villalobos baja	164.0	1.5	119.0	3.29E+06	2.29E+06	6
Río Pampumay (baja)	12.0	< 0.1	5.0	5.14E+02	1.43E+02	1.8
Río San Lucas	220.0	1.5	267.0	2.14E+06	1.43E+06	6.8
Río Pansalic/Panchigua ja	220.0	2.5	262.0	4.43E+06	2.71E+06	4
Río Platanitos	360.0	5.0	372.0	1.71E+06	1.14E+06	10.8
Río Pinula (baja)	860.0	5.0	511.0	1.86E+06	1.00E+06	10.4
Río Frutal/Zacatal	123.0	1.0	127.0	1.86E+06	1.71E+06	8.02

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo del lagos, 2022.

Parámetros fisicoquímicos de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán.

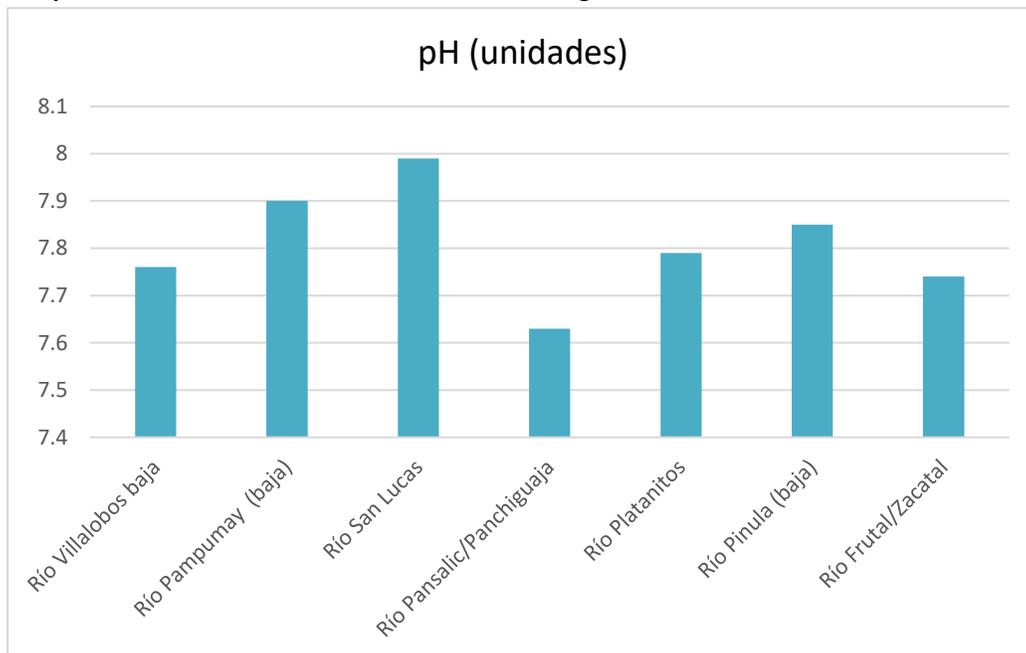
Parámetros *in situ*

- **Potencial de hidrógeno (pH):**

El grado de acidez o basicidad de un cuerpo de agua se basa en función de los iones de hidrógeno (H^+) e iones de hidróxido (OH^-) disociados en el agua. Este parámetro está basado en una escala del 1.0 al 14.0, teniendo una escala neutra de 7. Mientras más bajos sean los valores de pH, mayor acidez se detectará en una solución. Mientras más altos sean los valores de pH, mayor basicidad se detectará en una solución. Además, los valores de acidez o alcalinidad se encuentran estrechamente relacionados con el origen geológico de los suelos y sales disueltas en el agua.

Los valores de pH, en todos los ríos monitoreados en la cuenca, se mantienen en un rango de 7.63 a 7.99. El rango ideal para no afectar a las poblaciones de organismos acuáticos, ni afectar la salud de la población es de 6.5-9.0 (EPA, 2009), por lo que este rango detectado en los ríos de la cuenca no incide negativamente en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. Con relación al mes pasado el Río Pansalic/Panchiguaja aumento su pH a 7.63.

Gráfica 1: pH de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

- **Temperatura:**

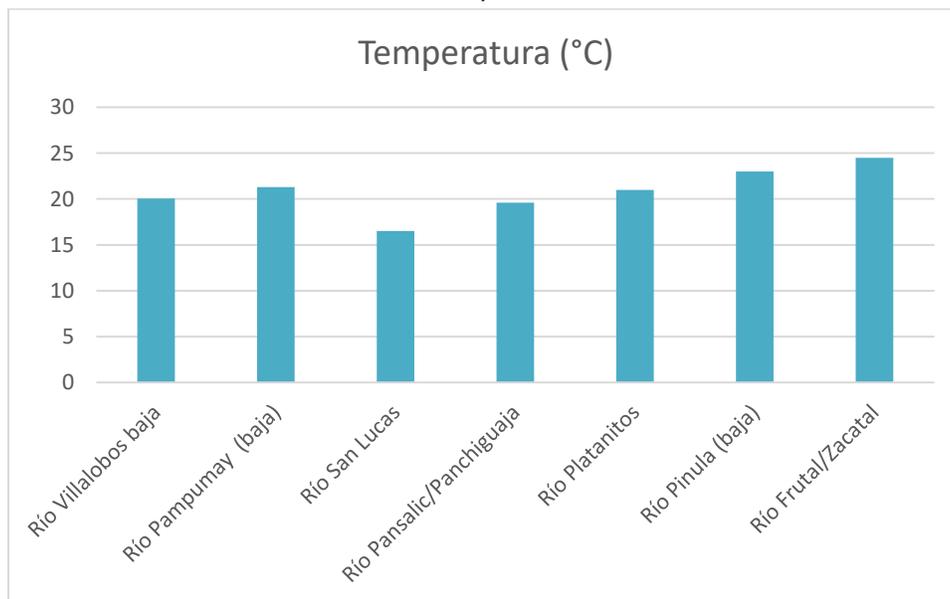
La temperatura es uno de los parámetros más importantes en cuanto a la medición de calidad de agua, ya que este parámetro está relacionado con la solubilidad del oxígeno en el agua, por lo que a mayores temperaturas la solubilidad del oxígeno será menor, probablemente comprometiendo a los organismos acuáticos dependientes de oxígeno. Además, llega a intervenir en ciertos procesos biológicos ya que puede llegar a afectar el desarrollo de ciertos organismos acuáticos (macroinvertebrados, por ejemplo).

En la gráfica No. 2 se puede observar que la mayoría de ríos tuvieron temperaturas mayores a 20°C, a excepción de los ríos San Lucas que tuvo una temperatura de 16.5°C y el Río Pansalic/Panchiguaja que tuvo una temperatura de 19.6°C. Este río (San Lucas) se encuentra a una mayor altitud que todos los demás (Cuadro No. 1) y además tiene un gran porcentaje de cobertura vegetal, la cual cumple la función de regular la temperatura, por lo que se mantiene baja y estable.

Los restantes ríos tienen una temperatura particular de partes bajas y medias de cuencas hidrográficas, donde el porcentaje de vegetación ribereña es mínimo, impidiendo la regulación de la temperatura. La excepción a lo anterior son los ríos Pampumay y Platanitos, donde se mantiene un alto porcentaje de este tipo de vegetación pero que constantemente es removida, por lo que la temperatura puede elevarse por temporadas.

Cabe destacar este mes que el Río Villalobos tuvo un descenso en la temperatura con relación al mes anterior de 0.7°C.

Gráfica 2: Temperatura (°C) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

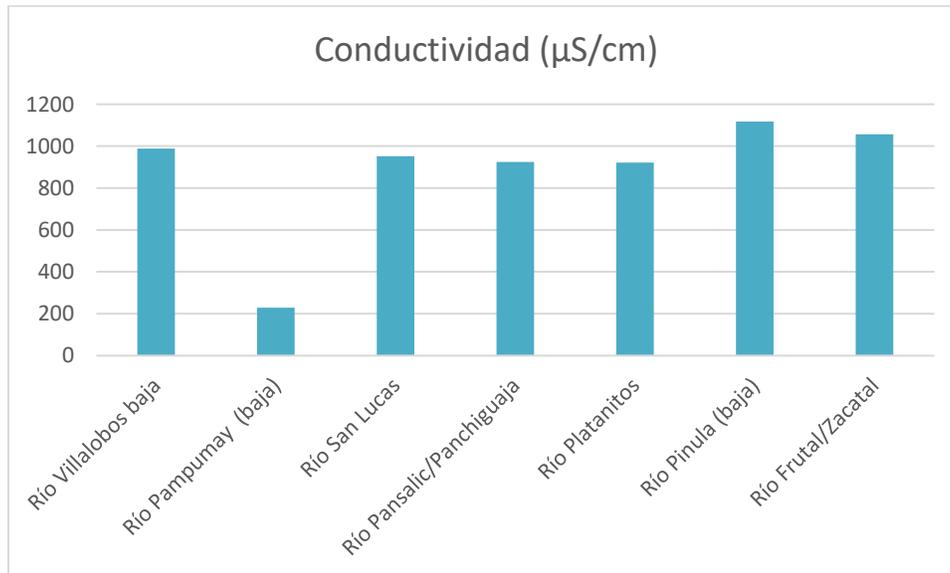
- **Conductividad:**

Los valores de conductividad representan la capacidad de conducción eléctrica en el agua, condición que se ve influenciada por la cantidad de sales disueltas detectadas. Los valores entre 150-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se consideran normales para ríos y riachuelos (EPA, 2012). Los valores de conductividad pueden estar influenciados por el tipo de suelo, actividades comerciales que se realicen en la cuenca, descargas del tipo industrial, etc.

En el mes de enero se registraron valores altos de conductividad en todos los ríos monitoreados, superando los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a excepción del Río Pampumay (Gráfica 3). En las cercanías de los ríos Frutal/Zacatal y Pinula se evidencian un leve aumento con respecto a los valores presentados el mes de Diciembre, El río Villalobos, al ser el principal afluente, se convierte en el mayor receptor de sales y por lo tanto se registran continuamente altas conductividades en su ecosistema. El río Platanitos es un río tributario que normalmente mantiene conductividades altas (900-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) debido a que es un río fuertemente urbanizado, donde múltiples descargas urbanas caen directamente a este sistema lotico, con relación al mes de Diciembre este río tuvo una leve disminución del rango que normalmente se mantiene. En los ríos Pansalic/Panchiguaja se detectó un aumento considerable con respecto al mes de Diciembre.

En contraste, el río Pampumay presentó el más bajo registro de conductividad (229 $\mu\text{S}/\text{cm}$) aumentando levemente en comparación con el mes anterior, lo cual indica los bajos niveles de sales disueltas que entran a este ecosistema acuático. Este registro se mantiene dentro de un rango ideal en el cual no se afecta a los organismos acuáticos que habitan dicho río.

Gráfica 3: Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



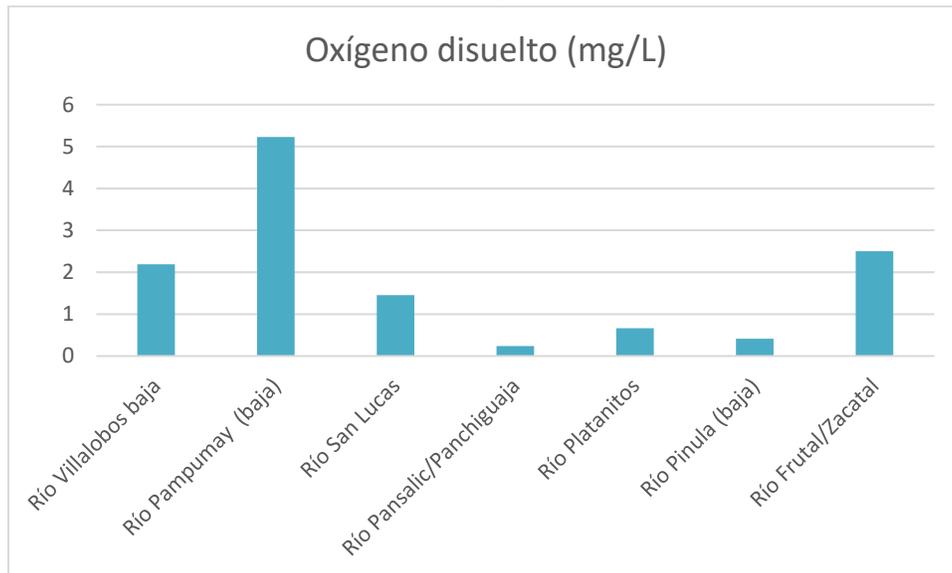
Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

- **Oxígeno Disuelto:**

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros más importantes al momento de analizar la calidad de agua que tiene un ecosistema acuático, ya que nos provee información valiosa acerca de los procesos biológicos y bioquímicos que ocurren en el agua (Wetzel & Likens, 2000). En condiciones ideales, el oxígeno disuelto debería estar en un rango de 7.0 a 9.0 mg/L. Además, los valores de OD pueden ser afectados por varios factores, como: contaminación, salinidad, temperatura, etc., por lo que pueden variar a lo largo del día (Roldan y Ramírez, 2008).

Los niveles de OD registrados en la mayoría de los ríos monitoreados en la cuenca del lago de Amatitlán son bajos, ya que no alcanzan los 7 mg/L. En este mes, los ríos Pansalic/Panchiguajá, platanitos, pínula tuvieron valores <1 mg/L, casi presentando valores de anoxia. El río con la mayor cantidad de OD fue el río Pampumay con 5.23 mg/L, disminuyendo levemente el OD con respecto al mes anterior, pero estando por debajo del rango ideal. Las poblaciones de organismos acuáticos, como crustáceos y macroinvertebrados, se ven afectadas con los bajos niveles de OD que presentaron la mayoría de ríos, ya que estos niveles de OD no permiten el desarrollo de una gran variedad de organismos acuáticos que dependen del oxígeno.

Gráfica 4: Oxígeno disuelto (mg/L) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

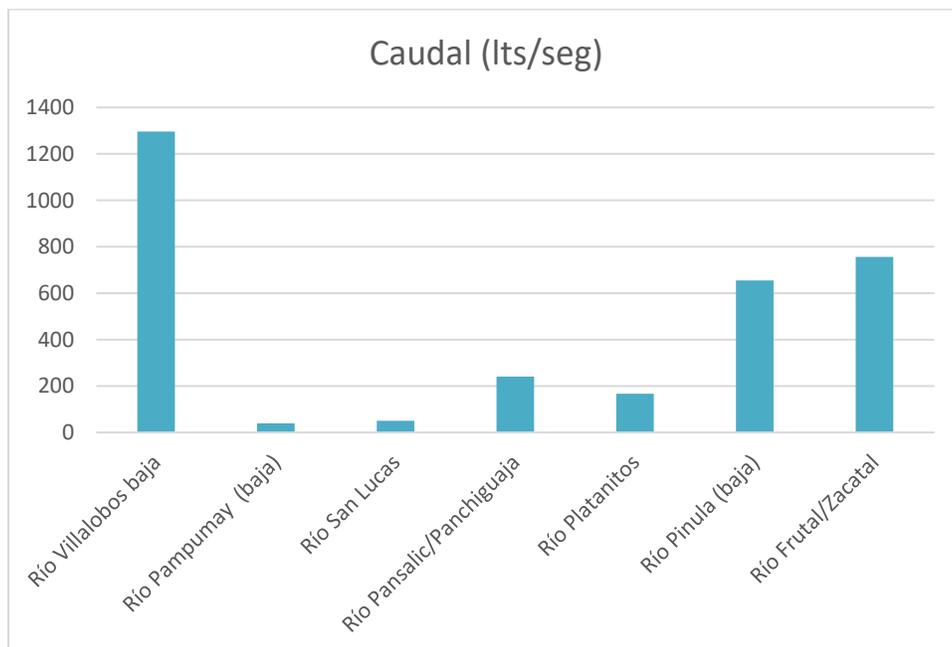
- **Caudal:**

Los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán presentan una variación marcada de los caudales para época estiaje y época lluviosa. Esta variación se debe al elevado porcentaje de la superficie impermeable por el crecimiento urbano, reduciendo la capacidad de infiltración de agua en los suelos, por lo que la precipitación se convierte directamente en escorrentía que drena hacia el lago de Amatitlán.

Los datos registrados corresponden a caudales de época de estiaje, principalmente para los ríos tributarios que se encuentran en las partes baja y media, como los ríos San Lucas y Pansalic/Panchiguaja. El sistema lotico que presentó el menor caudal fue el Pampumay con 39.58 lts/seg aumentando con respecto al mes anterior. Este mantiene caudales bajos tanto en época seca como lluviosa y aunque se encuentra en la parte baja de la cuenca, no forma parte de la red de drenaje del río Villalobos. Los ríos Frutal/Zacatal y Pinula si forman parte de la red de drenaje y se encuentran ubicados en la parte baja de la cuenca, por lo que reciben mayores caudales que los otros ríos tributarios, reportándose valores de 756.54 y 655.30 lts/seg, respectivamente, aumentando con respecto al mes anterior.

El sistema lotico que tuvo el mayor caudal fue el Villalobos (1297 lts/seg), lo cual es común ya que es el principal afluente del lago de Amatitlán. En este mes se registró una disminución del caudal del 76.79% con respecto al valor obtenido en el mes anterior, lo cual se atribuye a que se reanudo el bombeo de agua de este río a plantaciones cercanas.

Gráfica 5: Caudal (lt/s) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

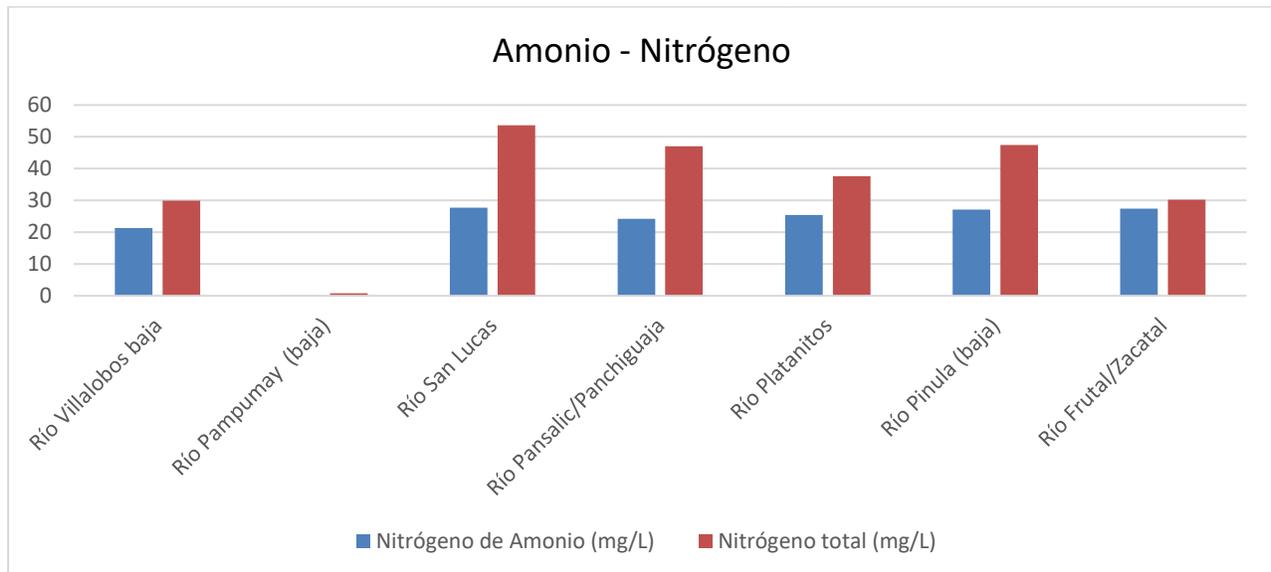
Nutrientes

El nitrógeno y fósforo son dos de los macronutrientes más importantes en los ecosistemas acuáticos, ya que son componentes esenciales de los organismos, intervienen en los ciclos del carbono en medios acuáticos, son determinantes para la producción primaria, entre otros aspectos que los hacen imprescindibles para este tipo de ecosistemas. Altos valores de estos macronutrientes pueden traer consecuencias negativas a los ecosistemas acuáticos, entre estos: eutrofización, anoxia, pérdida de biodiversidad, (Weigelhofer *et al.*, 2018).

- **Nitrógeno Total (NT), Nitrógeno de nitrato (NO₃-N), Nitrógeno de nitrito (NO₂-N) y de amonio (NH₄-N)**

En las gráficas 6 y 7 se muestran los valores reportados de nitrógeno total (NT), nitrógeno de amonio (NH₄-N), nitratos (NO₃-N) y nitritos (NO₂-N), para los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán. Todos los cuerpos de agua, a excepción del río Pampumay, presentan altos valores de NT, teniendo un rango de 29.93-53.61 mg/L. El origen de estos valores de NT puede ser de aguas residuales sin tratamiento, ya que los valores normales de NT para aguas residuales se encuentra en los 20 mg/L. (Biard *et al.*, 2017), especialmente en los ríos Pinula y Río San Lucas donde se detectaron los valores más altos (Gráfica 6). También los valores detectados de NH₄-N (Nitrogeno de Amonio) fueron altos en la mayoría de ríos de la cuenca, oscilando en un rango de 0.008-27.68 mg/L, siendo el río San Lucas el que tiene los valores más altos pero estando por debajo del rango permitido. Los valores típicos de NH₄-N en aguas residuales es de 30 mg/L (Biard *et al.*, 2017).

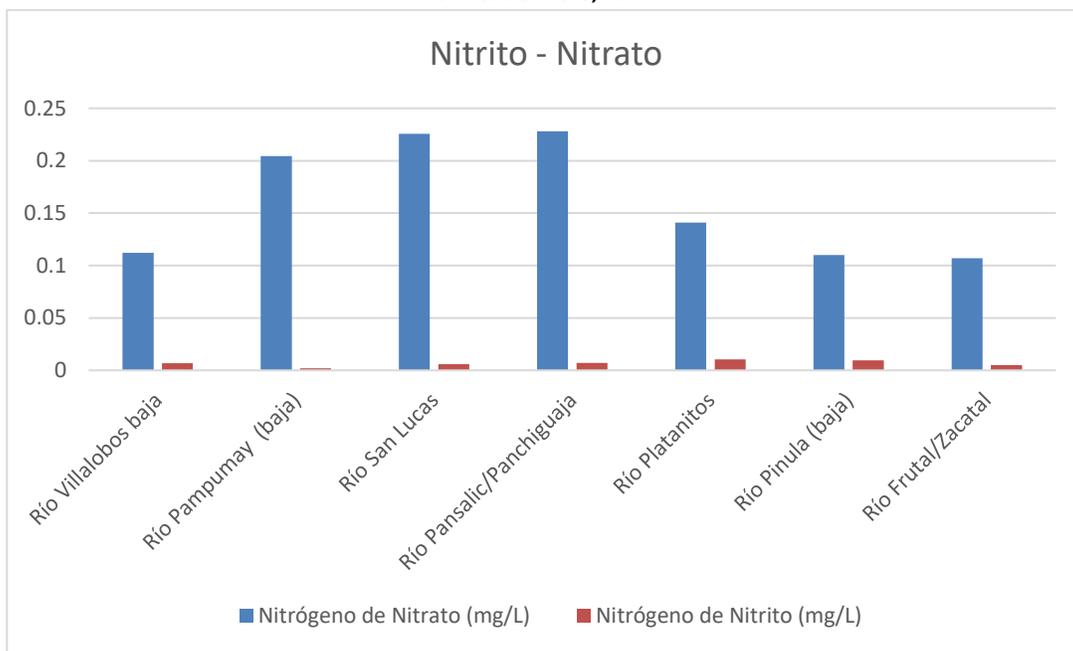
Gráfica 6: Valores de nitrógeno total (N) y amonio (NH₃-N) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

Los valores detectados de NO₃-N (nitrógeno de Nitrato) y NO₂-N (nitrógeno de Nitrito) para la mayoría de ríos monitoreados no sobrepasaron los 0.5 mg/L y los 0.02 mg/L, respectivamente. Estos valores indican que NO₃-N y NO₂-N poseen valores tolerables para un ecosistema de agua dulce y que por lo tanto no afectan a los organismos que puedan desarrollarse en estos ecosistemas. Camargo *et al.* (2005) determina que valores de >2 mg/L de NO₃-N puede representar efectos adversos para varias especies anfibios, peces y macroinvertebrados. En este caso los ríos Pansalic/Panchiguaja fueron los que presentaron mayor concentración de Nitrato con 0.228 mg/l. teniendo una disminucion considerable con respecto al mes de Diciembre.

Gráfica 7: Valores de nitratos (NO₃-N) y nitritos (NO₂-N) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



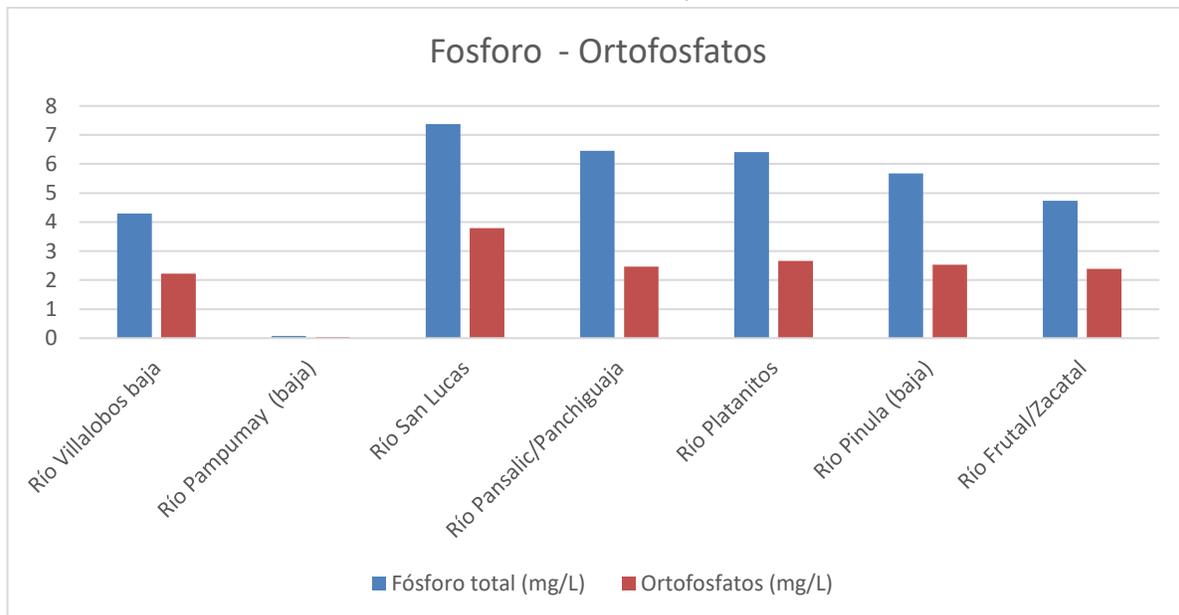
Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

- **Fósforo total (PT) y ortofosfatos (PO4-P):**

En la gráfica No. 8 se presentan los valores detectados de fósforo total (PT) y ortofosfatos (PO4-P) para los ríos de la cuenca. Con la excepción del río Pampumay, en todos los ríos se detectaron altos valores de PT, oscilando en un rango de 4.29-7.37 mg/L. Los cuerpos de agua que sobrepasan los 0.5 mg/L de PT se consideran como eutróficos (Boyd, 2015).

Las fuentes de donde puede provenir el fósforo son diversas (descargas de aguas residuales, descargas del tipo agrícola, erosión, etc.), pero dadas las condiciones de la cuenca, donde la mayoría de ríos son urbanos, y teniendo en cuenta que las aguas residuales poseen un PT promedio de 6.69 mg/L (Neal & Jarvie, 2005), probablemente este tipo de agua (residuales) sea de las principales fuentes de fósforo en los ríos de la cuenca. Precisamente el río San Lucas y Río Pansalic/Panchiguaja, que fueron los cuerpos de agua donde se registraron los valores más altos (7.37 y 6.45 mg/L) con un leve aumento con relación al mes anterior, estos cuerpos de agua son de los ríos que probablemente reciben una alta cantidad de aguas residuales sin tratamiento, ya que se encuentran fuertemente urbanizados.

Gráfica 8: Valores de fósforo total (P) y ortofosfatos (PO4-P) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.



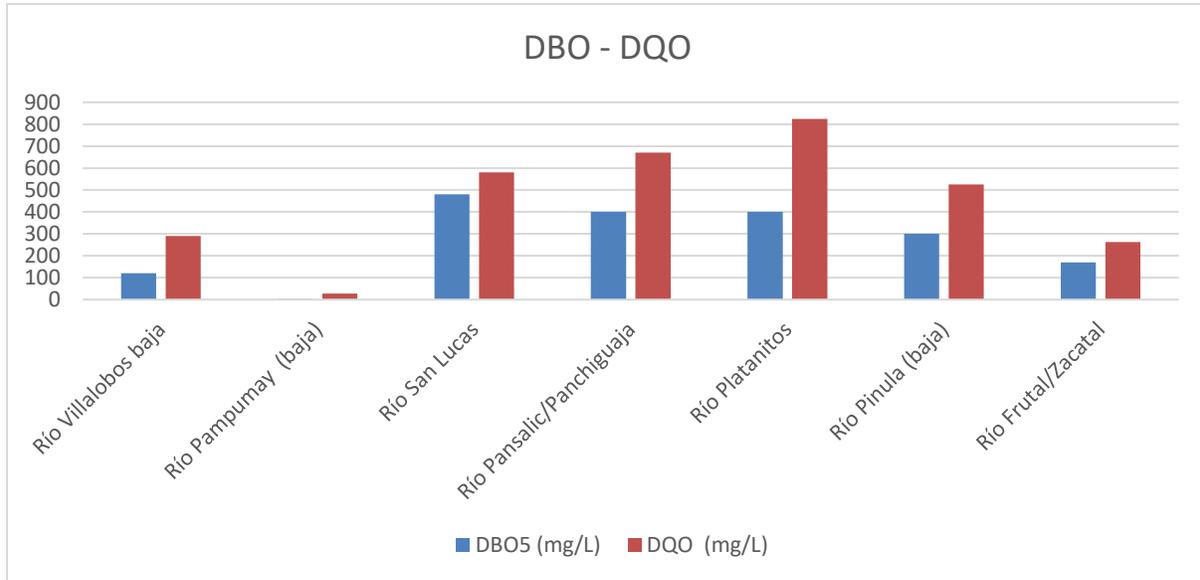
Otros análisis

Demanda Bioquímica (DBO₅) y Química de Oxígeno (DQO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO) son parámetros sanitarios evalúan indirectamente la contaminación que existe en un cuerpo de agua y lo realizan por la medición de la cantidad de oxígeno necesario para degradar la materia orgánica que recibe. Las fuentes de materia orgánica pueden ser: descargas de aguas residuales, fuentes naturales (caída de hojas, insectos, animales, etc.), por actividades agrícolas (escorrentía), etc. (Brenniman, 1999; Rao, 2006). Los cuerpos de agua que presentaron altos niveles de DBO₅ y DQO fueron el río Platanitos y Río Pansalic/Panchiguaja (Gráfica 9). Con respecto al mes anterior, disminuyendo los niveles de DBO₅ y DQO levemente, registrándose los valores para estos cuerpos de agua (aproximadamente 400 y 824 mg/L, 400 y 670 mg/L respectivamente). Aunque cada país tiene legislaciones específicas donde se establecen los rangos o límites permitidos de DBO₅ y DQO, se concuerda que valores >100 mg/L son considerados como altos y que los ecosistemas acuáticos donde se reportan estos valores reciben una gran contaminación orgánica.

En contraste, el río Pampumay presentó los niveles más bajos de DBO₅ y DQO, llegándose a detectar 3 y 27 mg/L, respectivamente manteniendo una tendencia con relación a los datos del mes anterior. Esto indica que la contaminación por descargas residuales es baja y que probablemente los valores detectados puedan depender de la cantidad de materia orgánica que cae accidentalmente al río (hojas, ramas, insectos, etc.), ya que es un río que tiene parches considerables de vegetación ribereña o bien, pueden ser causados por las actividades agrícolas cercanas a este ecosistema acuático, algo que llama considerablemente la atención son los valores del río Villalobos, ya que se detectaron 120 y 290 mg/L teniendo un leve aumento con respecto al mes de diciembre.

Gráfica 9: Valores de DBO₅ y DQO de los ríos muestreados de la Cuenca del lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



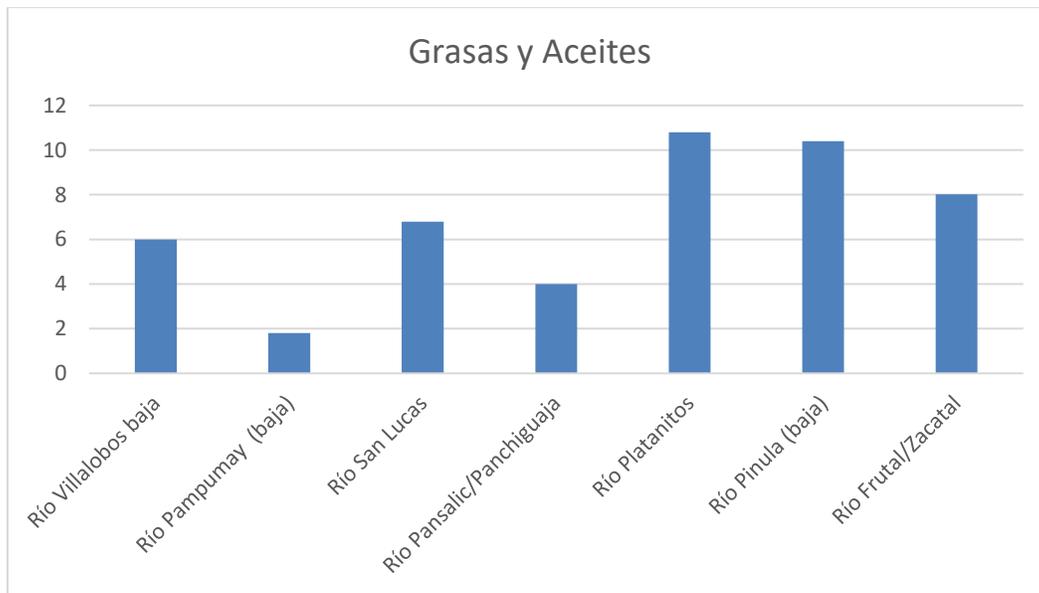
Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

Grasas y aceites

Las grasas y aceites son un grupo de sustancias que un solvente puede extraer y que no volatilizan durante la evaporación del solvente a 100°C. Este grupo se ha monitoreado debido al impacto ecológico que pueden tener en los ecosistemas acuáticos, ya que, por ejemplo, en grandes cantidades suelen acumularse en la superficie, haciendo que el intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el agua sea difícil, bajando de este modo los niveles de oxígeno (Khan & Ali, 2018).

El río platanitos presentó los valores más altos (10.8 mg/L) para todos los ríos tributarios monitoreados (Gráfica 10), mientras que el río Pampumay fue el que presentó los valores más bajos (1.8 mg/L). Este tipo de contaminación, además de originarse en descargas del tipo domiciliar, también puede originarse de descargas industriales no tratadas (producción de aceites comestibles, productos lácteos, desechos de rastros, desechos o producción de material frigorífico, etc.) (Khan & Ali, 2018).

Gráfica 10: Valores de grasas y aceites (mg/L) en los ríos monitoreados de la cuenca del lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

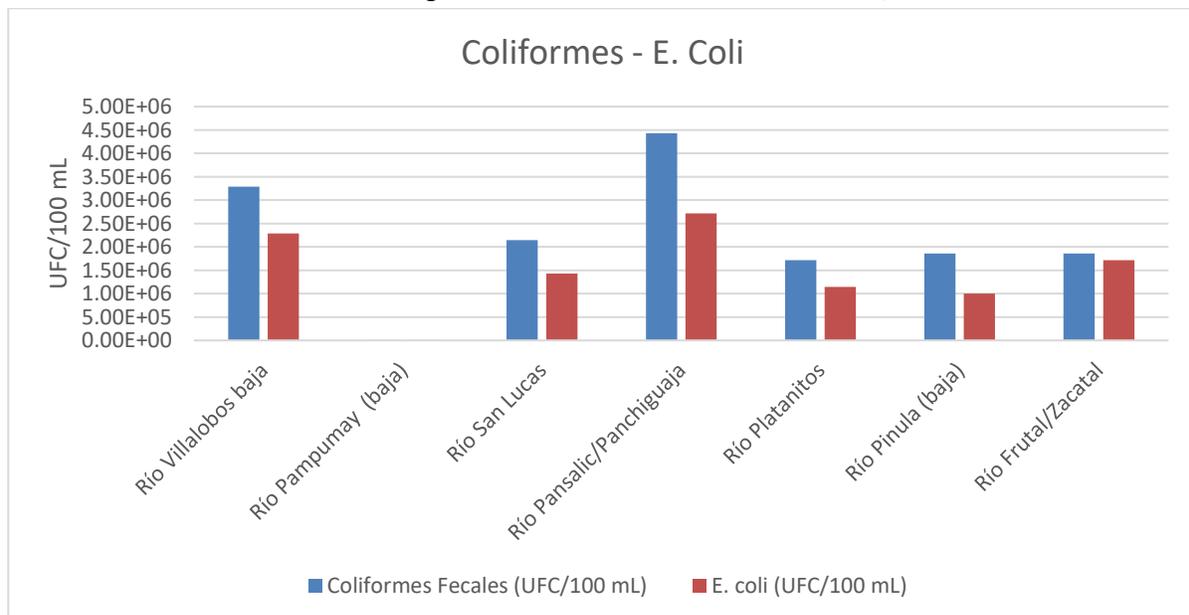
Parametros biológicos de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán.

- **Microbiología:**

Los análisis microbiológicos ayudan a conocer cuál es el estado de un cuerpo de agua en cuanto a contaminación fecal se refiere, específicamente en el análisis de coliformes fecales y *Escherichia coli*, los cuales han sido ampliamente utilizados para analizar la calidad de agua de un ecosistema (Gerba, 2009). Los resultados correspondientes para el mes de enero indican que el río con mayor contaminación fecal es el Río Pansalic/Panchiguaja, teniendo valores de coliformes fecales $4.43E+06$ UFC/100 ml. Pero con una disminución considerable con respecto al mes anterior. Los restantes ríos presentan una disminución considerable con respecto al mes de diciembre de coliformes en sus aguas. La presencia de altas cantidades de coliformes fecales y *E. coli* indican contaminación fecal reciente, que entra en los ecosistemas acuáticos y no tiene ningún tratamiento previo. Dichos patógenos se encuentran en grandes cantidades en los intestinos de mamíferos y otros organismos, por lo que la relación es directa con las fuentes que las producen (aguas residuales de áreas urbanas e industriales) (Reddy, 2011).

En el mes de enero se mantiene la normalidad el comportamiento donde el río que había presentado bajos niveles de este tipo de contaminación era el río Pampumay. En este mes disminuyó levemente los valores del río Villalobos en comparación con el mes anterior, estos pueden llegar a representar un problema de salud si se utiliza comúnmente el agua para actividades de consumo, recreación, etc.

Gráfica 11: Valores de Coliformes fecales y *Escherichia coli* (UFC/100 ml) detectados en los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de Enero , 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

CAPÍTULO II: INFORME DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL LAGO DE AMATITLÁN

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, a través de la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos realiza el monitoreo constante de las características fisicoquímicas del agua del Lago de Amatitlán y sus afluentes.

Para el monitoreo de la calidad de agua y el estado ecológico del lago de Amatitlán del mes de enero 2022, se realizó el monitoreo y colecta de muestras en 6 puntos de muestreo en el lago. Cada uno de estos puntos presentan características físicas particulares y condiciones específicas, para lo cual, las muestras de agua se toman a distintas profundidades (columna de agua): 0 m, 5 m, 10 m y 20 m (ver cuadro 1 y figura 1).

Cuadro 5: Puntos de muestreo establecidos para el monitoreo de la calidad de agua del lago de Amatitlán.

PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	0 METROS	5 METROS	10 METROS	20 METROS
1.	Bahía playa de oro	14°29'12.0"	90°34'12.2"	X	X
2.	Este centro	14°25'44.4"	90°32'28.0"	X	X
3.	Oeste centro	14°28'37.0"	90°35'14.1"	X	X
4.	Afluente (desembocadura del río villa lobos)	14°28'50.4"	90°34'20.6"	X	
5.	Efluente (Río michatoya)	14°29'12.4"	90°36'42.3"	X	
6.	Playa pública	14°29'16.4"	90°36'38.2"	X	

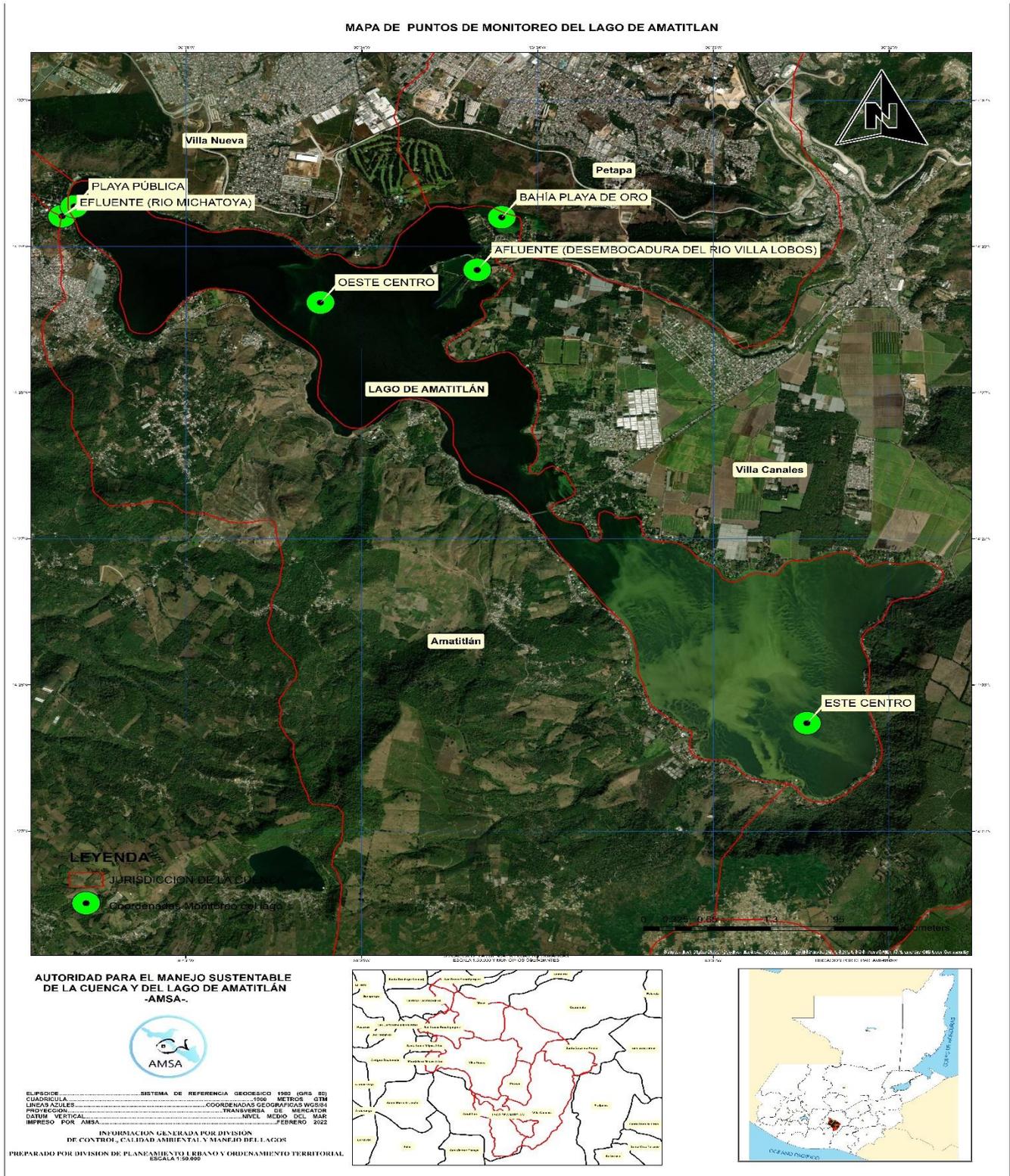
Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

Para cada uno de los puntos muestreados se realizó el análisis de los siguientes parámetros:

- *In situ*: potencial de hidrógeno, conductividad, oxígeno disuelto, profundidad máxima, sólidos disueltos totales, temperatura, salinidad y transparencia
- Fisicoquímicos: color aparente, color verdadero, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demada química de oxígeno (DQO), nutrientes (fósforo total, ortofosfatos, nitrógeno de amonio, nitrógeno de nitrato, nitrógeno de nitrito, nitrógeno total) silicatos, solidos suspendidos totales, turbiedad, metales pesados y contaminantes emergentes.
- Microbiológicos: coliformes fecales
- Biológicos: biovolumen de microalgas (cianobacterias), conteos de fitoplancton y zooplancton.



Figura 2: Puntos de muestreo del monitoreo de calidad del agua del lago de Amatitlán



Cuadro 6: Parámetros *in situ* de los seis puntos de monitoreo que se tienen en el lago de Amatitlán, Enero 2022.

Fecha	Hora	Sitio	Profundidad (mts)	pH (U)	T (°C)	Cond. (µS/cm)	Sali. (%)	TDS (mg/L)	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	Transparencia (m)
04/ene/2022	09:50	Este centro	0	8.47	22.9	649	0.2	325	7.36	97.5	0.87
04/ene/2022	10:00		5	7.79	22.7	654	0.2	327	3.16	45.8	NA
04/ene/2022	10:20		10	7.71	22.5	655	0.2	328	0.268	3.1	NA
04/ene/2022	10:25		20	7.79	22.2	663	0.2	331	0.013	0.2	NA
04/ene/2022	11:05	Bahía Playa de Oro	0	8.14	23.1	619	0.2	309	4.23	56.6	0.56
04/ene/2022	11:15		5	8.18	22.9	626	0.2	313	2.93	37.8	NA
04/ene/2022	11:37	Río Villalobos	0	7.56	20.9	1014	0.4	507	1.32	16.6	NA
04/ene/2022	12:00	Oeste centro	0	7.62	22.6	718	0.3	359	0.439	5.8	1.04
04/ene/2022	12:10		5	7.67	22.5	718	0.3	359	0.106	1.3	NA
04/ene/2022	12:20		10	7.67	22.5	719	0.3	359	0.019	0.2	NA
04/ene/2022	12:35		20	7.63	22.3	719	0.3	359	0.012	0.2	NA
04/ene/2022	12:45	Río Michatoya	0	7.92	23.4	713	0.3	356	4.65	62.4	0.77
04/ene/2022	12:52	Playa pública	0	7.83	23.00	716	0.3	358	3.52	47.3	1.00

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lagos, 2022.

Cuadro 7: Parámetros fisicoquímicos de los seis puntos de monitoreo que se tienen en el lago de Amatitlán, Enero 2022.

Sitio	Prof. (m)	Color aparente (U Pt-Co)	Color verdadero (U Pt-Co)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Nitrógeno de amonio (mg/L)	Nitrógeno de nitrato (mg/L)	Nitrógeno de nitrito (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)
Este centro	0	89.00	6.00	7.00	32.00	0.3093	0.1884	0.3483	0.1257	0.606	2.061
	5	48.00	7.00	5.00	15.00	0.2674	0.2145	0.545	0.0898	0.6581	1.875
	10	74.00	7.00	6.00	14.00	0.2803	0.2427	0.8929	0.0387	0.3542	1.8747
	20	146.00	4.00	7.00	14.00	0.3102	0.2687	1.1777	0.0304	0.0485	1.877
Bahía Playa de Oro	0	176.00	5.00	4.00	23.00	0.1093	< 0.0020	0.046	0.0377	0.0094	1.3598
	5	185.00	5.00	5.00	48.00	0.091	< 0.0020	0.0314	0.0367	0.0062	1.0401
Río Villalobos (desembocadura)	0	1,252.00	98.00	80.00	175.00	3.6671	1.9448	21.2584	0.1255	0.0154	31.0778
Oeste centro	0	114.00	16.00	3.00	20.00	0.5172	0.3917	4.417	0.0521	0.0034	5.8557
	5	123.00	15.00	4.00	23.00	0.5243	0.3954	4.2063	0.0482	0.002	5.6144
	10	123.00	18.00	5.00	23.00	0.5286	0.3947	4.4772	0.0454	0.0015	5.2277
	20	105.00	15.00	4.00	27.00	0.5896	0.4498	4.7361	0.0514	0.0014	5.2303
Río Michatoya	0	87.00	20.00	6.00	66.00	0.5023	0.394	2.901	0.0676	0.0224	5.1293
Playa pública	0	86.00	15.00	6.00	64.00	0.545	0.4115	3.1742	0.0532	0.0033	5.4747

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lagos, 2022.

Cuadro 8: Parámetros fisicoquímicos, análisis microbiológicos y de microcistinas totales y disueltas de los puntos de monitoreo que se tienen en el lago de Amatitlán, enero 2022.

Sitio	Profundidad (m)	Silicatos (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Grasas y aceites (mg/L)	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	Microcistinas disueltas (ug/L)	Microcistinas totales (ug/L)
Este centro	0	16.1226	8	11	6.20	2.00E+00	2.6077	<0.3
	5	15.7289	3	3	NA	NA	NA	NA
	10	15.5641	1	4	NA	NA	NA	NA
	20	15.808	3	6	NA	NA	NA	NA
Bahía Playa de Oro	0	62.4605	12	12	7.00	1.30E+02	1.0925	<0.3
	5	61.4903	13	12	NA	NA	NA	NA
Río Villalobos (desembocadura)	0	86.0785	166	137	6.00	NA	NA	NA
Oeste centro	0	17.3997	7	9	5.00	4.70E+03	<0.3	<0.3
	5	17.3282	5	8	NA	NA	NA	NA
	10	17.4028	4	10	NA	NA	NA	NA
	20	17.1477	3	14	NA	NA	NA	NA
Río Michatoya	0	17.5069	5	12	3.80	5.60E+01	1.0073	<0.3
Playa pública	0	17.3464	6	13	4.40	3.40E+01	0.9327	0.8983

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lagos, 2022.

Cuadro 9: Análisis de metales pesados registrados en los puntos de monitoreo que se tienen en el lago de Amatitlán, enero 2022.

Sitio	Profundidad (m)	Arsénico (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Cromo total (mg/L)	Plomo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Cobre (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinc (mg/L)	Hierro (mg/L)
Este centro	0	0.0487	0.0014	<0.0027	0.0112	ND	ND	ND	ND	0.2381
	5	0.0415	0.0014	ND	0.0104	ND	ND	ND	ND	<0.0579
	10	0.0233	0.0013	ND	0.0097	<0.0019	ND	ND	ND	ND
	20	0.0267	0.0012	ND	0.0098	ND	ND	ND	ND	ND
Bahía Playa de Oro	0	0.0472	0.0011	ND	0.0094	ND	ND	ND	ND	0.0865
	5	0.0286	0.0012	<0.0027	0.0090	ND	ND	ND	ND	0.0683
Río Villalobos (desembocadura)	0	0.0831	0.0013	0.0047	0.0127	ND	ND	ND	0.0481	5.6118
Oeste centro	0	0.0767	0.0012	<0.0027	0.0114	ND	ND	ND	ND	<0.0579
	5	0.0437	0.0011	<0.0027	0.0098	ND	ND	ND	ND	ND
	10	0.0419	0.0013	<0.0027	0.0271	ND	ND	ND	ND	<0.0579
	20	0.0435	0.0011	<0.0027	0.0089	ND	ND	ND	ND	<0.0579
Río Michatoya	0	0.0359	0.0012	<0.0027	0.0087	ND	ND	ND	ND	ND
Playa pública	0	0.0225	0.0011	<0.0027	0.0088	ND	ND	ND	ND	<0.0579

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lagos, 2022.



Parámetros Físicoquímicos de los puntos de monitoreo establecidos en el Lago de Amatitlán

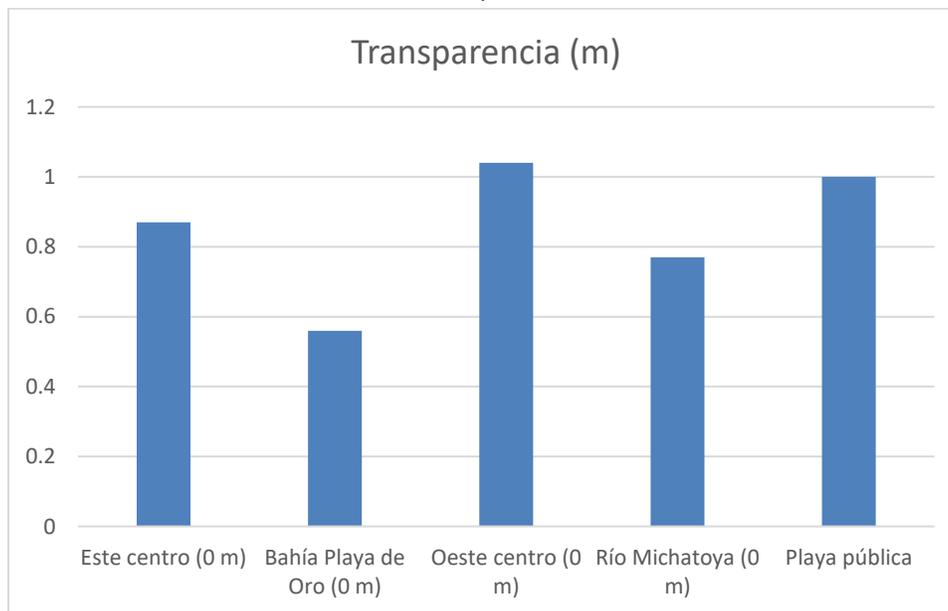
Parámetros *in situ*

- **Transparencia:**

La medición de la transparencia de las aguas de un ecosistema acuático (generalmente de lagos) es uno de los parámetros más usados para tratar de establecer el estado trófico de un cuerpo de agua (Lambou *et al.*, 1982), ya que los lagos que tienen altas concentraciones de nutrientes y una alta producción de biomasa algal, tienen bajas mediciones de transparencia. Los puntos monitoreados en el lago de Amatitlán tuvieron una transparencia < 1 mts determinados por el disco secchi con excepción del punto Oeste Centro.

La medición de transparencia más baja se registró en Bahía Playa de Oro (0.56 mts de transparencia), Esto nos indica que comparado con el mes anterior y debido a la finalización de las lluvias la materia orgánica e inorgánica que se encontraba suspendida aumenta. La medición más alta de transparencia se registró en el punto Oeste Centro con 1.04 mts. Estas mediciones de transparencia ubican al lago de Amatitlán en un estado trófico, donde comúnmente se registran altas densidades de algas y macrofitas (Pavluk & Vaate, 2008).

Gráfica 12: Transparencia (m) registrada en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

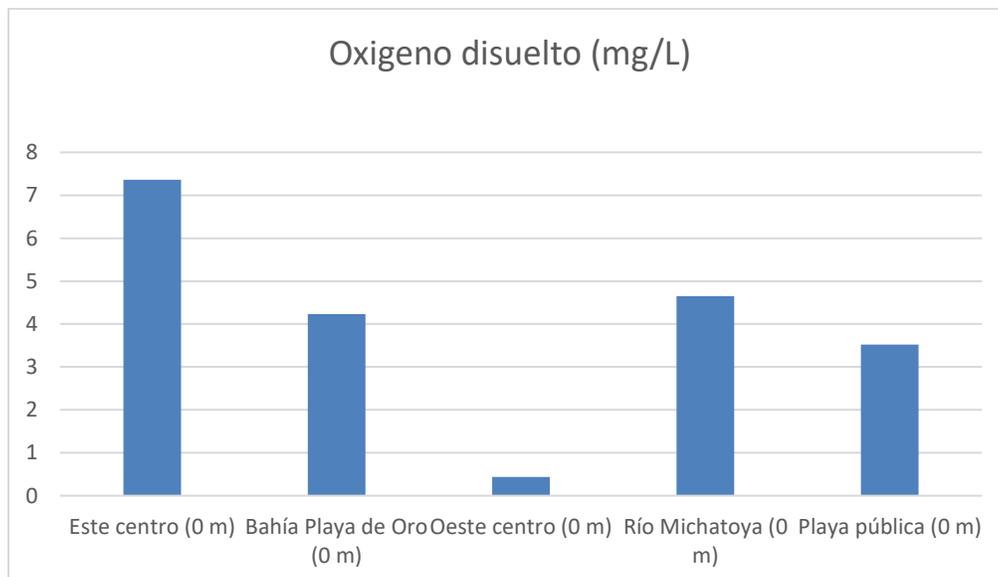


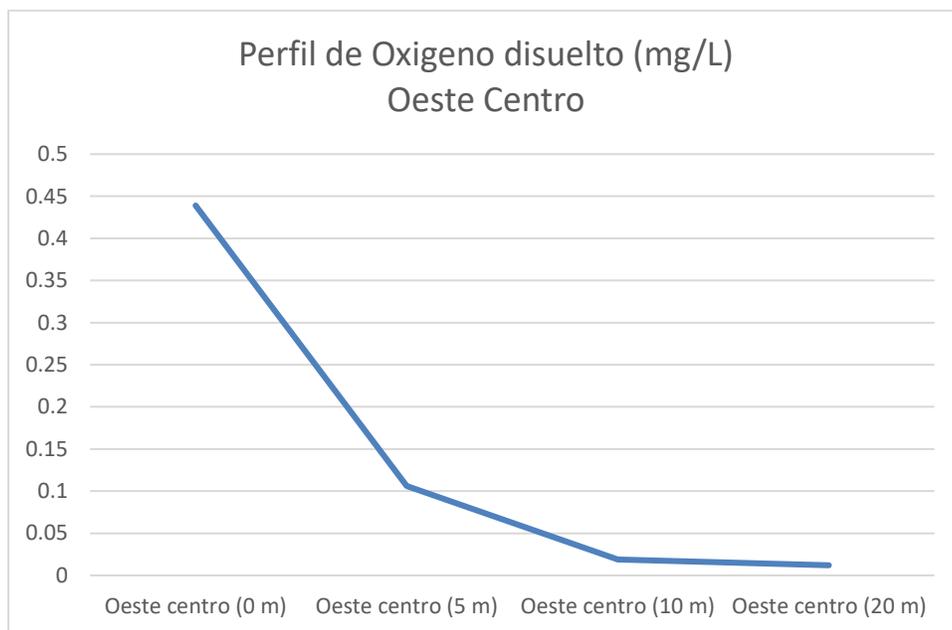
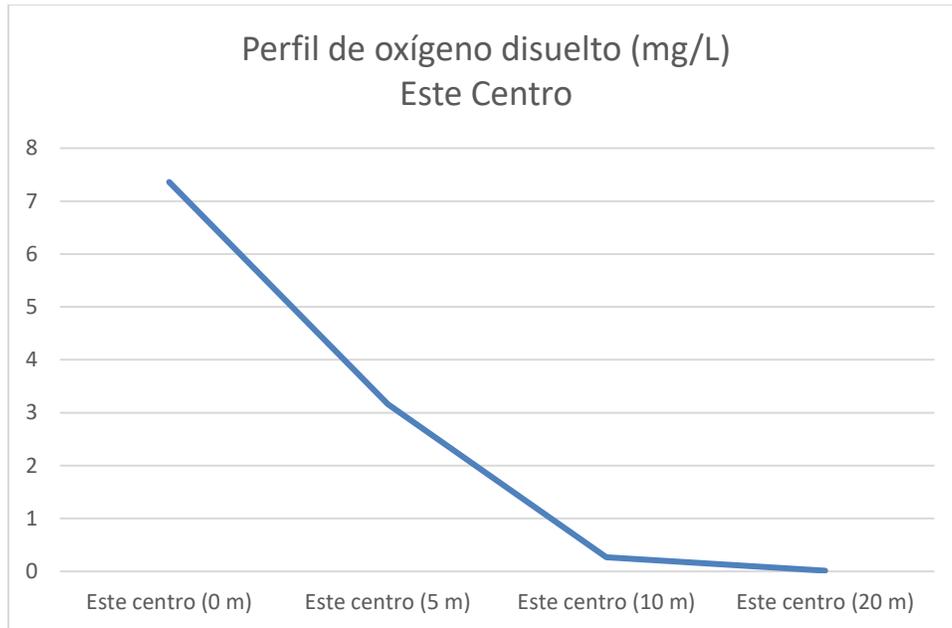
- **Oxígeno disuelto:**

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros más importantes en los ecosistemas acuáticos, ya que una gran cantidad de organismos dependen de este parámetro para sobrevivir y desarrollarse. Peces, moluscos, macroinvertebrados y zooplancton, son uno de los grupos biológicos dependientes de oxígeno que se tienen identificados en el lago de Amatitlán, los cuales son claves para el mantenimiento de las redes tróficas que existen en el lago.

Los datos registrados de OD que corresponden al mes de Enero indican que en ningún punto los valores registrados de OD para el estrato superficial (epilimnion) fueron > 10 mg/L. en comparación con el mes pasado en la mayoría de los puntos hubo un aumento considerable. Cabe destacar el punto de Este centro (0 m) el cual tuvo un aumento con respecto al mes anterior del 58.42 % (3.06- 7.36 mg/L) esto se deriva de la baja o casi nula concentración de nutrientes en este punto.

En la gráfica 13, se representan los perfiles de OD de los puntos con mayor profundidad (Este y Oeste Centro). En el punto Este Centro se puede observar como los valores de OD van disminuyendo conforme la profundidad va aumentando, hasta llegar a niveles anóxicos en el hipolimnion (0.013 mg/L). Este es una característica específica de lagos eutróficos o hipereutróficos (anoxia en el hipolimnion) y que es común en la estratificación térmica que se produce en el lago (Thomas & Beim, 1992). En el punto Oeste Centro los valores de OD disminuyen drásticamente desde los 5 m, llegando a presentar niveles anóxicos (0.012 mg/L) esto puede relacionarse a los altos valores de amonio (NH_4^+) registrados desde los 10 m en este punto (Ver Cuadro 16), ya que en los procesos de nitrificación (oxidación del NH_4^+ a NO_2^-) la actividad microbiana de este proceso tiende a consumir el OD presente en la columna de agua (Pauer & Auer, 2000).





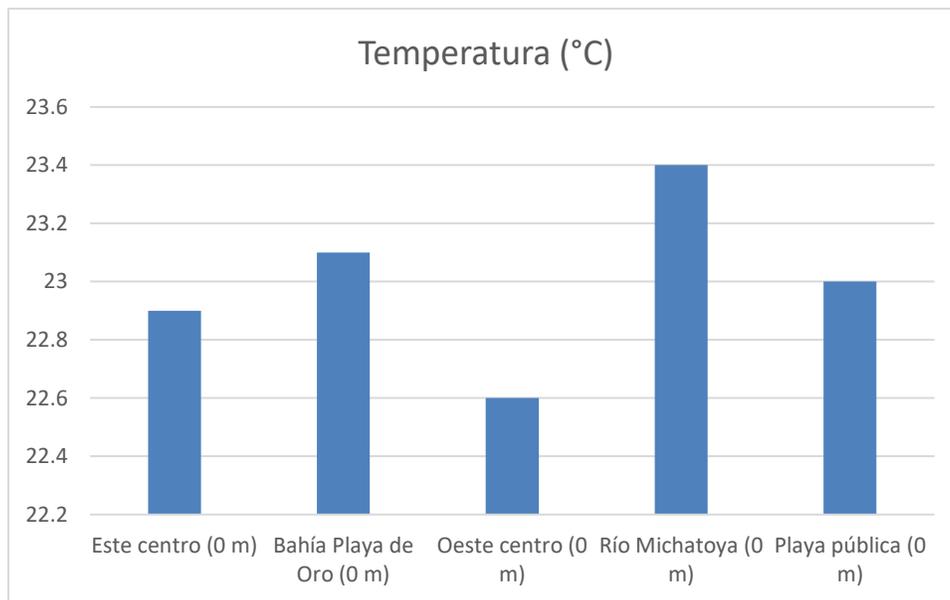
Gráfica 13: Perfil de oxígeno disuelto (mg/L) en los puntos de monitoreo que tienen la mayor profundidad en el lago de Amatitlán (Este y Oeste Centro), durante el mes de enero, 2022

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

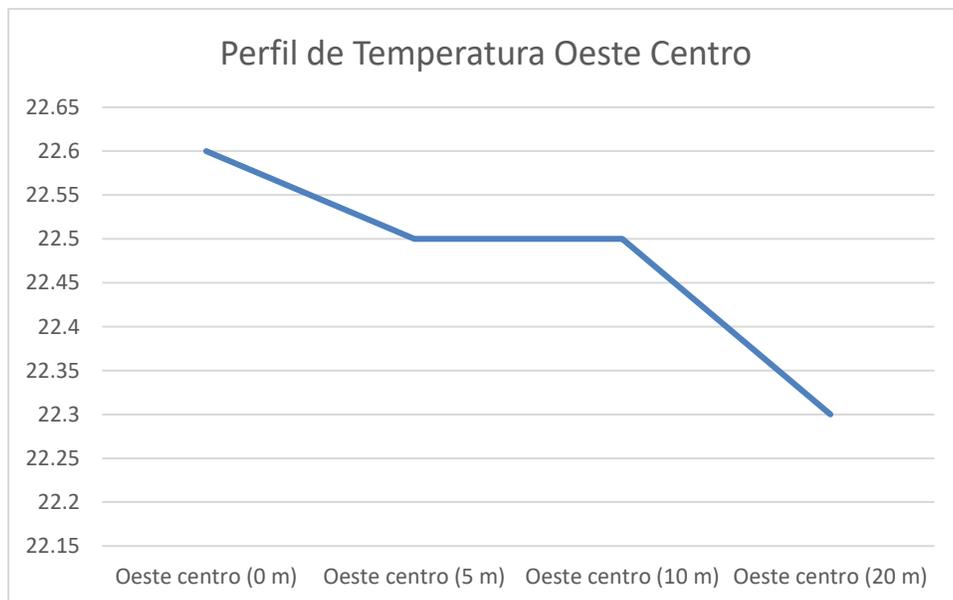
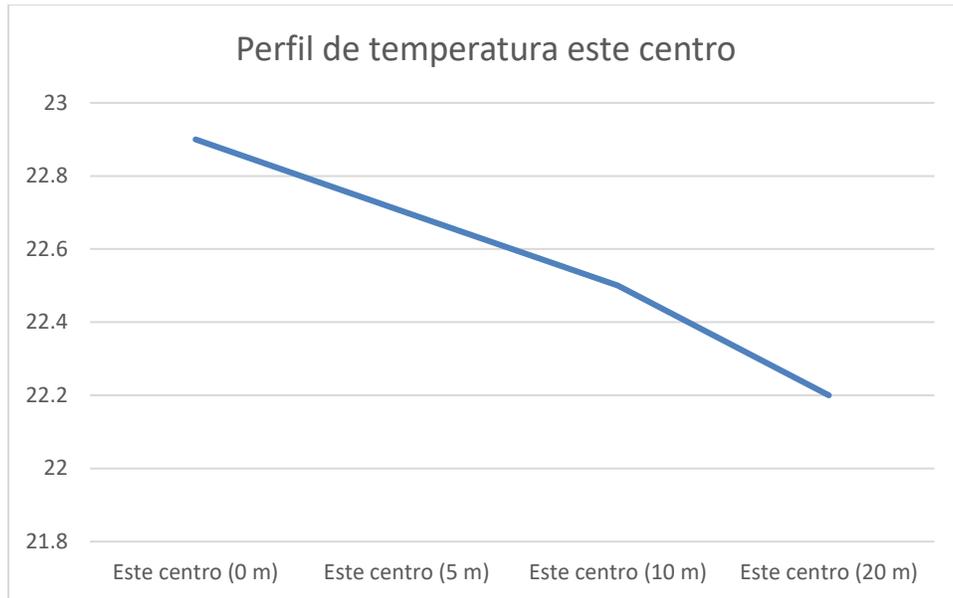
- **Temperatura:**

La temperatura es uno de los parámetros más evaluados en los ecosistemas acuáticos, ya que sus valores se relacionan e influyen con otros parámetros. Las temperaturas registradas en los estratos superficiales de los puntos de monitoreo del lago oscilaron entre 22.6-23.4 °C, las cuales son temperaturas típicas de lagos tropicales (Lewis, 1987). Además, la formación de una pequeña termoclina se observa en los primeros metros de profundidad (Gráfica 14), para los puntos de Oeste y Este Centro en comparación con el mes anterior hubo un pequeño desenso de temperatura. Esto se debe a la estratificación térmica que ocurre en la época post invierno, donde los estratos más superficiales (epilimnion) se encuentran con temperaturas altas y mayor cantidad de oxígeno, mientras que los estratos más profundos (hipolimnion) tienen bajas temperaturas y bajas cantidades de oxígeno disuelto variando únicamente por 0.7° y 0.3° este mes.

Esto se puede observar en las gráficas de perfiles de temperatura para los puntos Este Centro y Oeste Centro.



Gráfica 14: Perfil de temperatura (°C) en los puntos de monitoreo que tienen la mayor profundidad en el lago de Amatitlán (Este y Oeste Centro), durante el mes de enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

Nutrientes

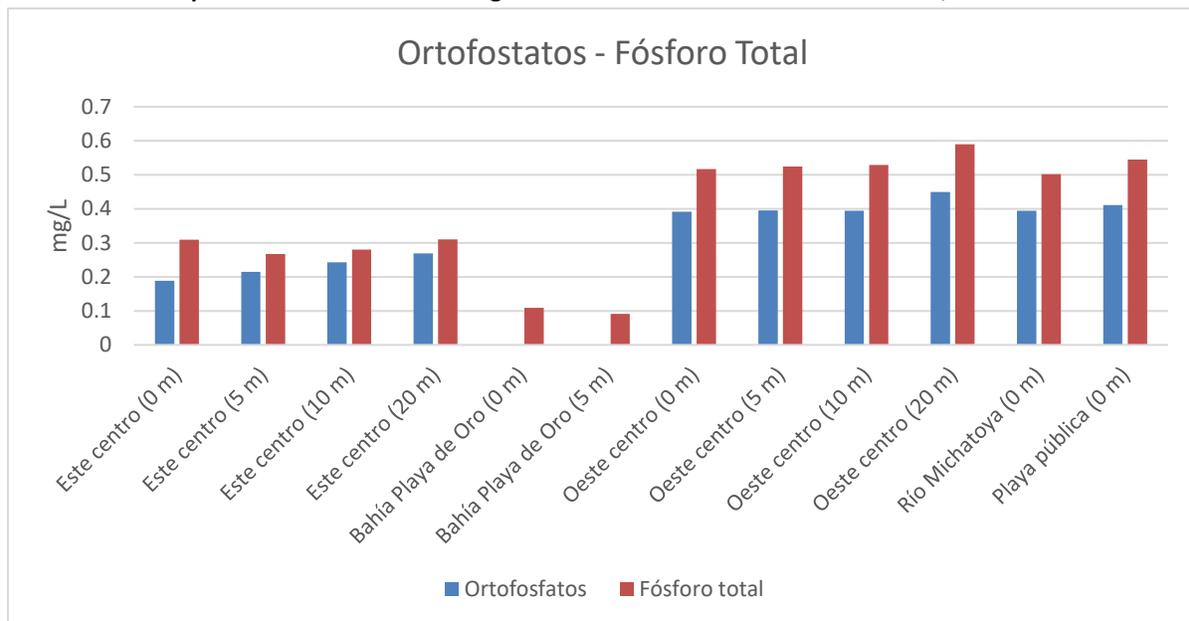
- **Fósforo total (PT) y ortofosfatos (PO₄-P):**

El fósforo es uno de los elementos más estudiados e importantes en los ecosistemas acuáticos, ya que, por ejemplo, cumple un gran rol en el metabolismo biológico de los organismos. Este elemento, a diferencia de los elementos que tienen importancia nutricional y estructural como el carbono, hidrógeno, nitrógeno, etc., es menos abundante y comúnmente limita la producción primaria (Wetzel, 2001).

Los valores de PT detectados en el lago de Amatitlán, para algunos de los puntos de monitoreo, aumentaron considerablemente en comparación al mes anterior, se obtuvieron valores mayores a 0.50 mg/L para fósforo total (PT) (Ver gráfica 15). Hay que resaltar que en comparación al mes anterior hubo una nivelación de resultados evidenciándose en el punto de Este y Oeste Centro obteniéndose valores de hasta 0.30mg/L y 0.58mg/L respectivamente. Viendo un comportamiento típico de la época de frío. Wetzel (2001) indica que si se obtienen valores de PT mayores a 0.1 mg/L en el epilimnion, el cuerpo de agua se puede considerar como hipereutrófico.

Además, los valores detectados en algunos puntos en este año disminuyeron comparados con los valores detectados el mes pasado. Por ejemplo, en diciembre se detectaron 0.14 mg/L en Bahía Playa de Oro y en este mes se detectaron 0.10 mg/L, lo que representa una disminución del 4% con respecto al valor anterior.

Gráfica 15: Valores de fósforo total (PT), ortofosfatos (PO₄-P) y fósforo total disuelto (PTD) detectados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.



- **Nitrógeno Total (NT), Nitrógeno de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$), Nitrógeno de nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) y de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$):**

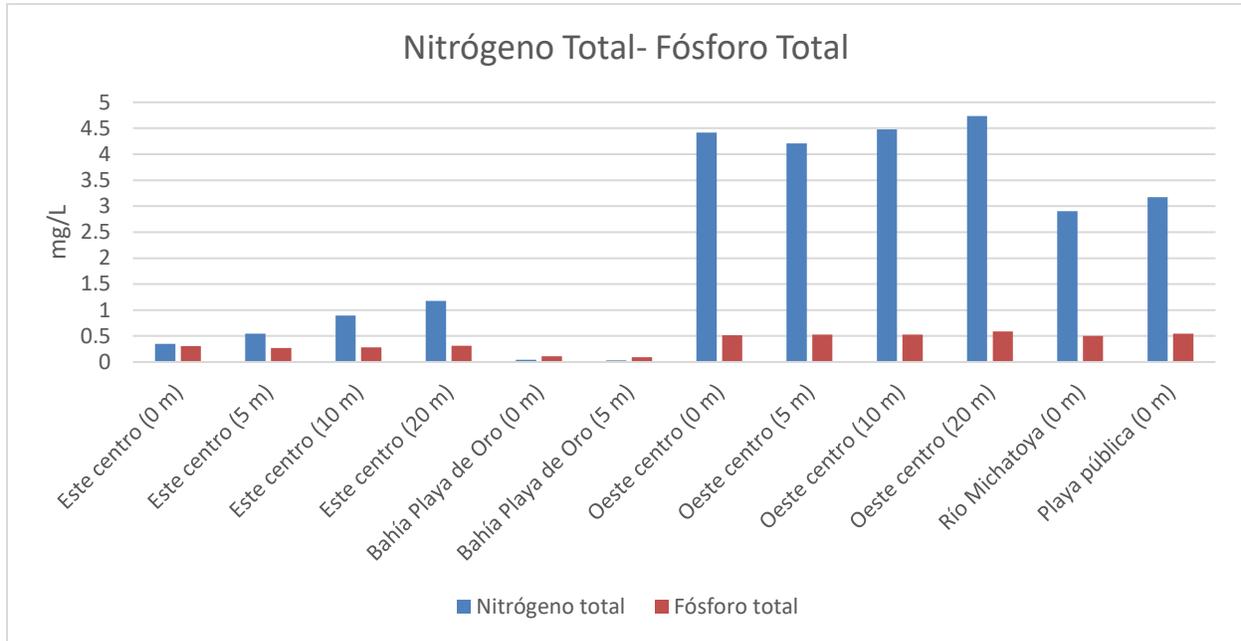
El nitrógeno es otro de los elementos más importantes en los ecosistemas acuáticos ya que se encuentra en varias macromoléculas esenciales para el desarrollo de los organismos, como proteínas, nucleótidos, etc. En lagos pueden encontrarse en varias formas, tales como: amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$) y nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$), siendo algunas fuentes de nitrógeno la precipitación (que cae directamente al lago), la fijación de nitrógeno, escorrentía superficial, etc. (Wetzel, 2001).

Los valores de nitrógeno total (NT) registrados en este mes fueron altos, en comparación de los puntos de monitoreo de NT superficial reportados para diciembre del año pasado, principalmente en el punto Oeste Centro. Los valores obtenidos aumentaron considerablemente, registrándose >0.50 mg/L más de lo reportado el mes anterior. Con respecto al mes de diciembre, los valores de NT variaron conforme los puntos de monitoreo, registrándose un descenso considerable en los valores de NT registrados en las superficie de Este Centro y en Bahía playa de Oro, (de 0.34 y 0.04 mg/L comparado con diciembre de 2.25 y 1.56 mg/L).

Los compuestos de nitrógeno y fósforo son nutrientes críticos para los organismos que dependen directamente del suelo y en últimas para la cadena trófica. Dichos nutrientes determinan el desarrollo de cultivos y productividad de los ecosistemas. Se requiere del entendimiento de los factores que afectan los procesos naturales y los mecanismos bióticos y abióticos involucrados con las pérdidas y disponibilidad del N y P, para el desarrollo de prácticas de manejo tendientes a su uso eficiente en la nutrición vegetal, como también para reducir los efectos adversos de algunas prácticas agrícolas sobre la calidad del suelo y el agua.

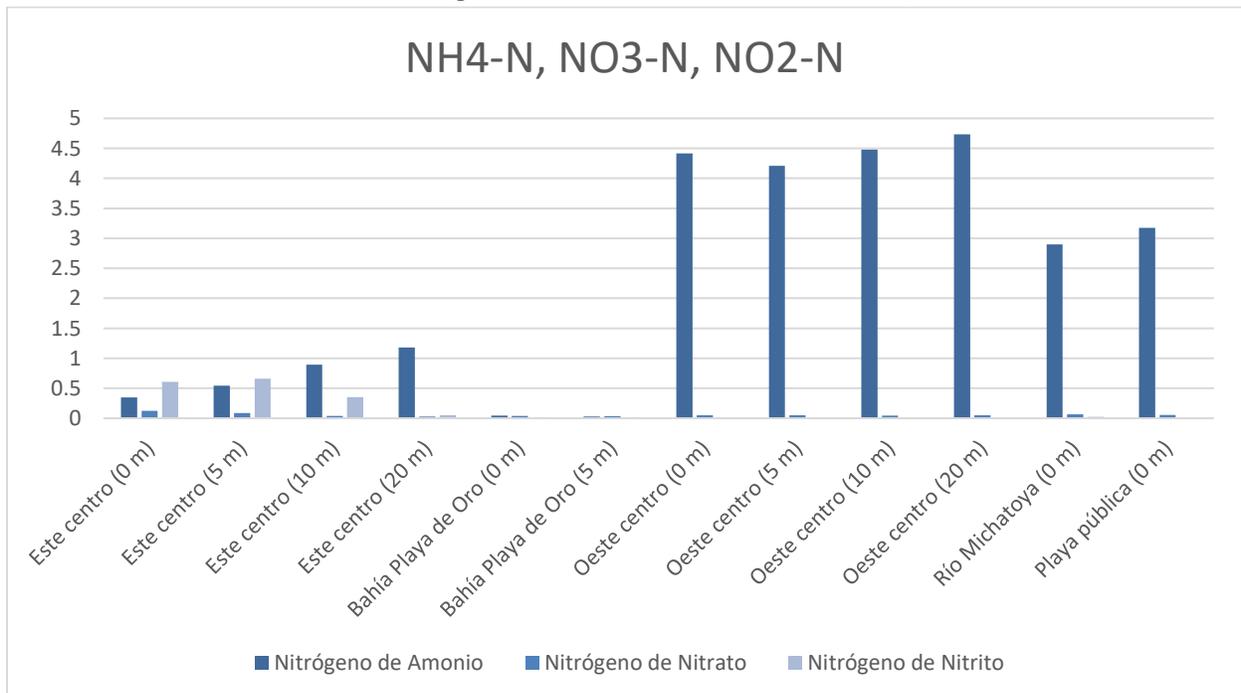
En cuanto al amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$), se detectó que los valores reflejados a profundidad son de un máximo de 4.73 mg/L. en comparación de la capa superficial que los valores reflejados son mayores al límite de detección <0.0010 mg/L. Esto se puede deber por el descenso y la alta concentración del caudal del río Villalobos y al arrastre que este mismo hace directo al lago. Altas cantidades de $\text{NH}_4\text{-N}$ pueden ser peligrosas para los organismos acuáticos debido a que se vuelve difícil tratar de excretarlo, dando lugar a una acumulación tóxica en los tejidos y sangre, y posteriormente la muerte del organismo (Huff *et al.*, 2013).

Gráfica 16: Valores de nitrógeno total (NT) y nitrógeno total disuelto (NTD) detectados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

Gráfica 17: Valores de amonio (NH4-N), nitratos (NO3-N) y nitritos (NO2-N) detectados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.



Otros análisis

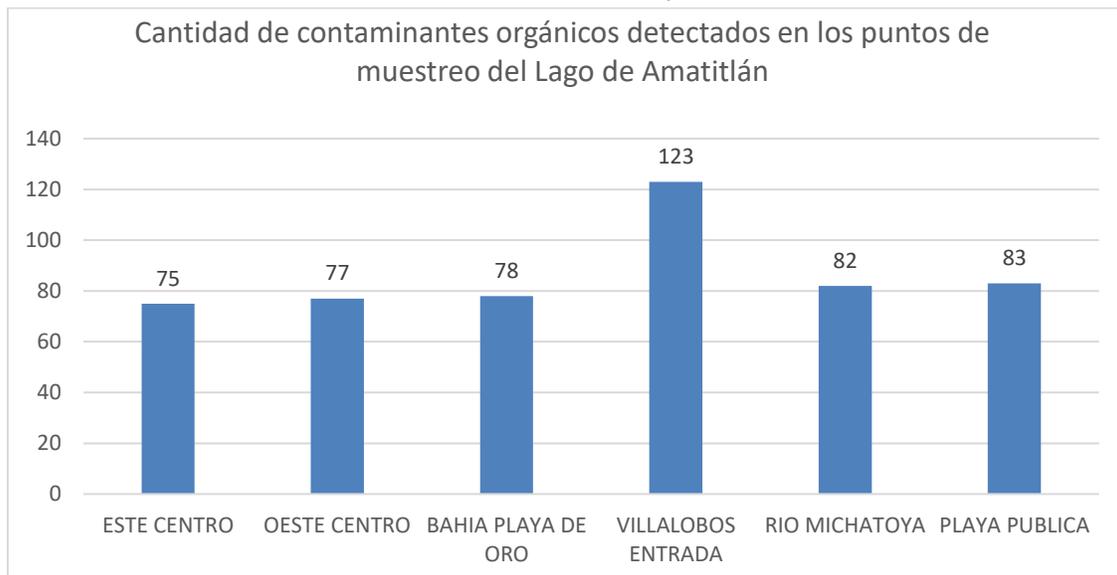
Contaminantes Emergentes

Los contaminantes emergentes son compuestos químicos que comúnmente no han sido monitoreados en el ambiente, pero que tienen el potencial de tener efectos adversos en los ecosistemas y en la salud humana (Geissen *et al.*, 2015). Estos compuestos se dividen principalmente en: compuestos farmacéuticos, de cuidado personal, hormonas, aditivos de comida o productos procesados, pesticidas, plastificantes, preservativos de comida, desinfectantes, surfactantes, detergentes, etc. (Tang *et al.*, 2019).

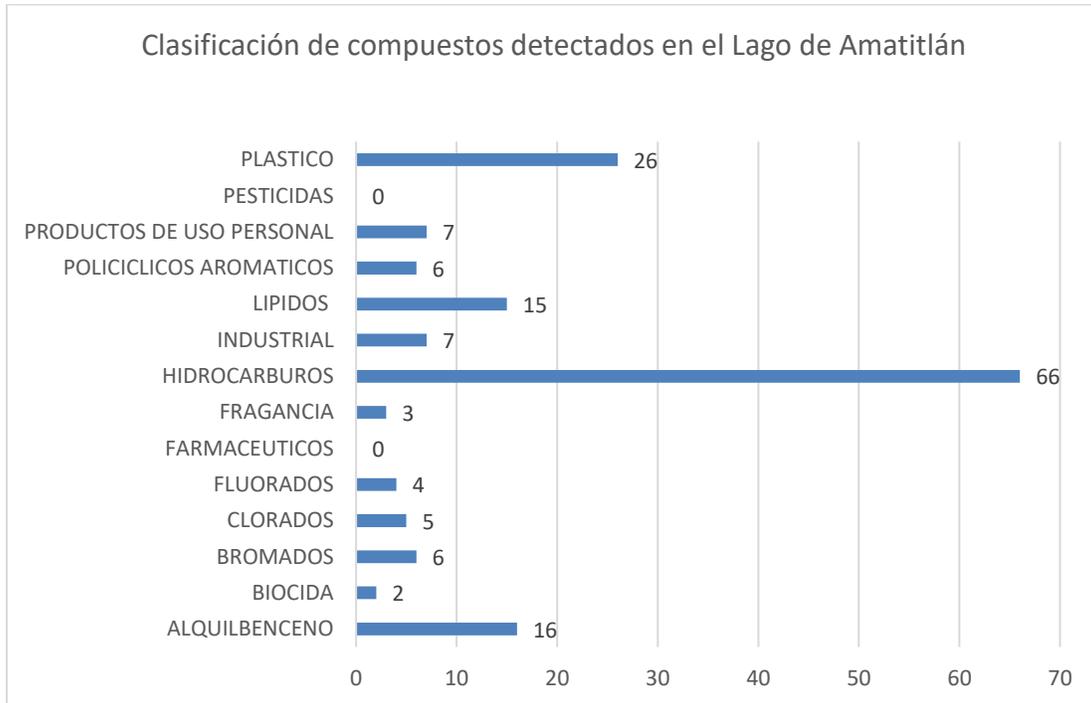
Los compuestos identificados y clasificados por su uso, que se detectaron este mes en el lago de Amatitlán, fueron: Hidrocarburos, plastificantes, productos clorados, productos de uso personal, fragancias, productos farmacéuticos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, etc. Este mes en todos los puntos hubo una disminución en todos los puntos con respecto al mes anterior, debido a la mejora que tiene el lago con respecto a sus nutrientes, esto se debe a que por medio de la metodología aplicada en cromatografía de gases se puede identificar una mayor cantidad de compuestos.

El punto de monitoreo con mayor cantidad de compuestos identificados, fue río Villalobos con 123 compuestos identificados, mientras que el punto con menor cantidad fue Este centro con 75 compuestos (Gráfica 18).

Gráfica 18: Cantidad de contaminantes orgánicos detectados en seis puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

Microcistinas totales y disueltas

Las microcistinas son una de las toxinas más predominantes producidas por las cianobacterias. Existe una gran variedad de microcistinas, las cuales se diferencian en los dos aminoácidos que tienen en su composición molecular. Dichas toxinas, en altas cantidades, pueden producir daños en distintos órganos, por ejemplo el hígado o puede actuar como un promotor de tumores e inducir un estrés oxidativo en las células afectadas (Wu *et al.*, 2019). Los valores guías que maneja la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el uso adecuado de agua para consumo es de 1 µg/L de microcistinas (WHO, 2020).

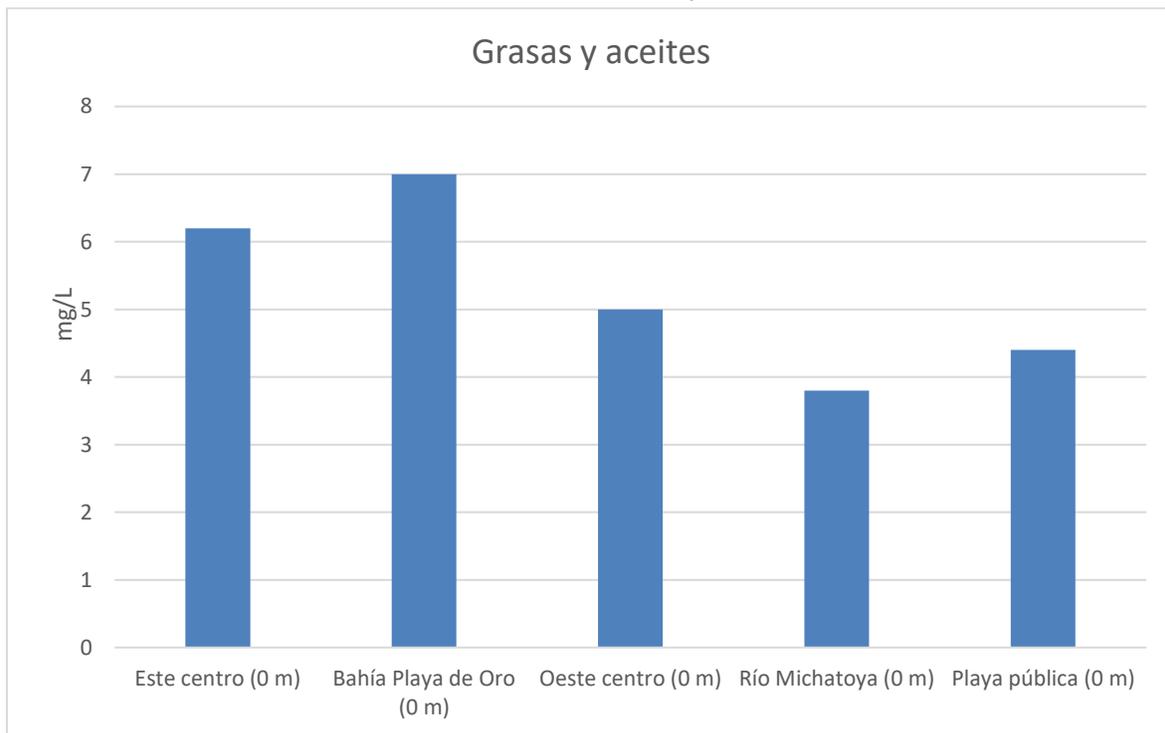
Los resultados para microcistinas totales fueron <0.3 µg/L, el único punto que sobre paso del límite fue Playa Pública con 0.89 µg/L (Cuadro 8). Para microcistinas disueltas en todos los puntos se obtuvieron datos >1 µg/L, el único punto que estuvo por debajo es en playa pública con un total de 0.93 µg/L. El análisis de microcistinas totales detecta la cantidad de microcistinas disueltas y de microcistinas dentro de las células de las cianobacterias. El análisis microcistinas disueltas solo detecta la cantidad de microcistinas que se encuentran en el agua.

Grasas y aceites

Como se ha mencionado anteriormene, las grasas y aceites son compuestos que pueden tener un impacto negativos en los ecosistemas acuáticos, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto del ecosistema acuático, por ejemplo. En la gráfica 19 se pueden observar los valores registrados de estos compuestos para el mes de Enero, en el punto de Bahía Playa de Oro se registro el valor más alto (7 mg/L) pero en comparación al mes anterior hubo un aumento de 2%.

Los valores registrados en dichos puntos de monitoreo se pueden considerar altos, ya que son característicos de aguas residuales. Estos valores con respecto al mes de Diciembre aumentaron, limitando el entorno de los organismos que dependen de oxígeno y que se desarrollan en el lago de Amatitlán como peces, moluscos, crustáceos, etc.

Gráfica 19: Valores de grasas y aceites (mg/L) registrados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022.

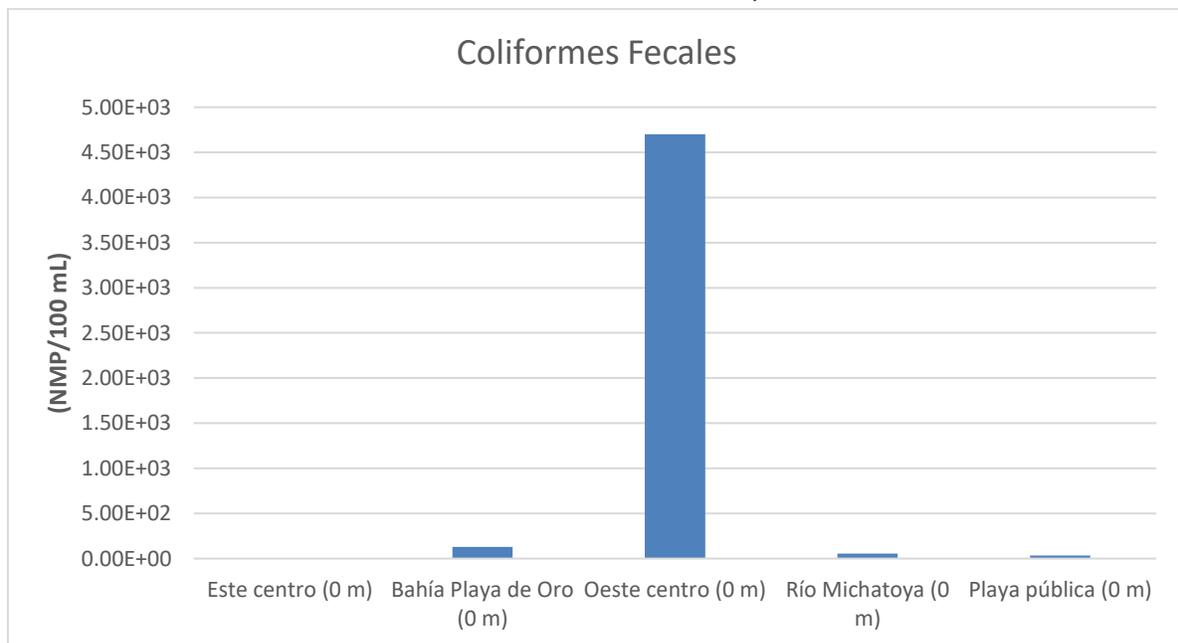
Parámetros biológicos de los puntos de monitoreo establecidos en el Lago de Amatitlán

- **Microbiología:**

Se realizaron análisis de coliformes fecales en el lago de Amatitlán para conocer el grado de contaminación fecal que existe en este ecosistema acuático. Es bien conocido que las bacterias coliformes se mantienen en los intestinos y materia fecal de muchos mamíferos, incluyendo a los humanos, por lo que es un buen indicador de este tipo de contaminación (Hoyer *et al.*, 2006). Los valores obtenidos para el mes de enero (Gráfica 20) indican que en el Oeste Centro se registro un descenso considerable con respecto del mes anterior, a pesar de que estos valores siguen siendo los más altos con $4.70E^3$ NMP/100 ml, mientras que los puntos con los valores más bajos fueron Este centro y Playa Publica (2 y 3.40 NMP/100 ml, respectivamente). Estos últimos puntos se encuentran en el lado este del lago de Amatitlán, estos valores aumentaron por disminucion de caudal debido a la entrada de la espoca seca.

Los valores >1000 NMP/100ml de coliformes fecales tienen un alto riesgo para la salud de las personas que tienen un contacto directo con el agua del lago (pesca, natación, etc.) (Lloyd & Bartram, 1991), por lo que se debe tener mucha precaución al utilizar esta agua ya que puede traer consigo problemas de salud (gastrointestinales, principalmente).

Gráfica 20: Valores de coliformes fecales (UFC/100 ml) registrados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de Enero, 2022.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2022

CONCLUSIONES SOBRE EL ESTADO DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA CUENCA Y EL LAGO DE AMATITLÁN

RÍOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN

Las muestras de agua analizadas en el Laboratorio de Agua y Sólidos demuestran que existen grandes y continuas descargas de aguas residuales de tipo ordinario, especial y mixtas sin tratamiento en los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán, con excepción del río Pampumay. Entre los datos más importantes se pueden mencionar:

- El aumento de los valores que se detectan de nitrógeno y fósforo en los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán (Gráfica 6 y 8, respectivamente), indican que en los cuerpos de agua al recibir menos cantidad de agua, por ya no estar en la época de lluvia existe una mayor concentración de la cantidad de macro y micronutrientes, con respecto al mes anterior se sigue reflejando la contaminación por nutrientes existentes. El objetivo institucional sería promover acciones que ayuden a la disminución de estos macronutrientes a lo largo del año en los ríos de la cuenca (plantas de tratamiento, sanciones, mediciones puntuales, denuncias, etc.).
- El aumento en los valores de nitrógeno y fósforo también coinciden con los valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO), lo cual indica que al haber menos caudal existe menor dilución de la materia orgánica que está entrando en los ríos de la cuenca.
- El aumento en la contaminación fecal (Gráfica 11), en parámetros de coliformes fecales y *E. coli*, también es un indicio de las descargas de aguas residuales sin tratamiento que reciben los ríos de la cuenca. Esto también es un objetivo institucional, de promover acciones para la disminución por medio de la verificación de plantas de tratamiento, denuncias e inspecciones para evitar que estas lleguen en gran cantidad al lago. Este mes se registro una disminución con relación al mes de diciembre del año pasado, en los tributarios Pansalic/Panchiguaja hubo una disminución con respecto del mes anterior el cual sigue estando por encima de los límites de contaminación.
- Debido al grado de contaminación que tienen las aguas de los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán, estas no deben ser utilizadas para ningún fin (recreación, consumo, riego, etc.), ya que se podría poner en peligro la salud de las personas.
- Otro de los grandes problemas que enfrenta la cuenca es el arrastre de sedimentos hacia sus cuerpos de agua y que tiene como destino final el lago. Los datos de sólidos totales disueltos, salinidad y conductividad (Cuadro 2), nos dan una idea de cómo se encuentran los ríos en cuanto al arrastre de material particulado, siendo los ríos Villalobos (parte baja), Pansalic/Panchiguaja, Río Platanitos y el río Pinula (cuenca baja) los más afectados. Las acciones inmediatas y viables para la institución es comenzar a recuperar zonas de ribera de ríos y empezar a realizar reforestaciones con plantas nativas, para prevenir la erosión y remoción de sedimentos que afectan directamente los ecosistemas acuáticos.
- Los problemas anteriormente mencionados inciden en uno de los parámetros más importantes que se analizan: el oxígeno disuelto. Este parámetro es de suma importancia para las poblaciones de



organismos acuáticos y por el momento, la mayoría de los ríos tiene niveles bajos de oxígeno. Para el mes de enero bajaron levemente los niveles de OD en la mayoría de ríos en comparación con los del mes pasado. Si se quieren restaurar las condiciones de los ríos de la cuenca, este parámetro debería ser un medidor del avance o retroceso de las actividades de restauración.

- El río Pampumay es el cuerpo de agua que presenta las mejores condiciones en cuanto a calidad de agua. Los datos de microbiología, nutrientes y parámetros *in situ* indican que este cuerpo de agua no ha recibido grandes impactos urbanos, pero que no se recomienda para ser utilizada como fuente de agua potable. Ahora, las condiciones físicas del río sí han cambiado (remoción constante de vegetación ribereña), ya que los resultados de macroinvertebrados indican que existen perturbaciones en este ecosistema y aunque por el momento no afectan la calidad de agua, sí pueden llegar a afectar a las poblaciones de organismos que habitan este ecosistema (macroinvertebrados y peces), comprometiendo el funcionamiento del ecosistema del río.
- Toda la problemática que existe en los ríos de la cuenca repercute en el estado del lago de Amatitlán. Mientras que no se tomen medidas directas en cuanto al mejoramiento de las condiciones de los ríos (p.e. la disminución de la entrada de aguas residuales y sedimentos a los ríos), el lago de Amatitlán seguirá teniendo problemas de eutrofización/hipereutrofización y de reducción de profundidad.

LAGO DE AMATITLÁN

Las muestras de agua analizadas en el Laboratorio de Agua y Sólidos nos dan indicios del estado trófico que presenta el lago de Amatitlán y de los problemas que enfrenta este cuerpo de agua. Entre los datos más importantes podemos mencionar:

- El lago de Amatitlán sufre un problema de eutrofización. En el mes de enero al analizar los datos de transparencia, fósforo, oxígeno disuelto, entre otros, se indica que el lago está teniendo un ligero retroceso con respecto al mes anterior en el estado ecológico del lago y todos los servicios ambientales que pueda proveer (pesca, recreación, turismo, etc.). Bajo estas condiciones, las poblaciones biológicas que habitan el lago de Amatitlán (peces, crustáceos, moluscos, etc.) no pueden llegar tener un mejor desenvolvimiento en sus ciclos de vida, producto de la disminución de caudal y aumento en la concentración de nutrientes de este ecosistema acuático por la época entrar a la época de verano.
- Las altas cantidades de nutrientes que entran por medio de su principal afluente (río Villalobos) contribuye a la proliferación de florecimientos de cianobacterias, causantes, en parte, de la degradación de la calidad de agua del lago.
- Según resultados de parámetros analizados, el punto de Oeste Centro en la superficie fue el que presentó niveles altos de nutrientes, en comparación al mes de diciembre hubo un aumento considerable en el caso del nitrógeno y fósforo debido al cese de las lluvias y la disminución del caudal (4.41 mg/L de nitrógeno total y 0.51 mg/L de fósforo total).
- La contaminación fecal es otro de los problemas que enfrenta el lago de Amatitlán, producto de la gran cantidad de aguas residuales que tienen una alta carga fecal y que son drenadas por el río

Villalobos. No todos los puntos monitoreados presentan altas cantidades, pero si existen puntos con alta carga de este tipo de contaminación como el Oeste Centro ($4.70E+03$ NMP/100 ml). Además, existen puntos de especial interés como Playa Pública, donde los valores detectados disminuyeron con relación al mes de diciembre en un 50%, los cuales fueron de $3.40E+01$ NMP/100 ml. Este punto es de interés social y comercial ya que allí se concentran muchas actividades de turismo y comercio del lago, y bajo estos valores de contaminación fecal se deben tomar ciertas precauciones, principalmente con las personas que realizan actividades directas con el agua del lago (pesca, natación, etc.).

- Los contaminantes emergentes necesitan del monitoreo constante ya que pueden ser potencialmente adversos en los organismos que viven en el lago de Amatitlán o bien, a las personas que utilizan el agua del lago. El peligro radica en no saber que tan peligrosos son estos contaminantes emergentes detectados y cómo pueden llegar a afectar al ecosistema del lago y a la salud humana. Además, en este mes de enero se detectaron menor cantidad de grasas en el lago, por lo que la identificación de los compuestos orgánicos fue mayor.
- La toxicidad que puedan presentar los extensos florecimientos de cianobacterias debe de ser un tema preponderante, al momento de abordar el análisis de la calidad de agua del lago. Los resultados para microcistinas totales fueron <0.3 $\mu\text{g/L}$ únicamente en el punto de playa Pública se obtuvo un resultado de 0.8983 $\mu\text{g/L}$, lo cual indica que se sigue manteniendo un mejoramiento y reducción de microcistinas y esto reduce el tener efectos negativos en la salud. Para microcistinas disueltas se llegó a registrar hasta 2.60 $\mu\text{g/L}$ en Este Centro, siendo el punto de mayor detección (Cuadro 8).
- La degradación de los ecosistemas acuáticos de la cuenca del lago de Amatitlán es evidente y a modo de que no se trabaje en proyectos de restauración de estos, principalmente en los ríos de la cuenca, el lago de Amatitlán tendrá el mismo estado trófico y consiguiente deterioro de sus condiciones ecológicas.

**REGISTRO FOTOGRÁFICO
MONITOREO AL LAGO DE AMATITLÁN**



Fotografías 1 y 2: monitoreo al lago de Amatitlán en el mes de Enero, 2022

MONITOREO A LOS RIOS DE LA CUENCA



Fotografías 3 y 4: Monitoreo del Rios de la Cuenca del Lago de Amatitlán en el mes de Enero, 2022.

OTRAS ACTIVIDADES



Fotografía 7: Calibración de equipos del Laboratorio/ inducción al personal de nuevo ingreso/ apoyo a otras divisiones por denuncias de contaminación, Enero 2022

CAPÍTULO III: OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS POR LA DIVISIÓN DE CONTROL AMBIENTAL

- Reuniones interinstitucionales

Se tuvieron las siguientes reuniones con otras instituciones:

- RELABSA: reunión mensual donde participa la División de Control Ambiental, ya que forma parte de la Red de Laboratorios de Salud y Ambiente.
- COGUANOR: reunión mensual para tratar temas de Índice de Calidad de Agua (ICA) y otros temas relacionados.
- INDE: Capacitación para medición de caudal sólido en la división.
- Capacitación interna a nuevos miembros del equipo de Laboratorio.



REFERENCIAS

- Baird, B., Eaton, A. & Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd*. Water Environment Federation, American Public Health Association, American Water Works Association.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. (2th ed.). U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- Boyd C.E. (2015) Phosphorus. In: *Water Quality*. Springer, Cham
- Brenniman, G. R. (1999). Biochemical oxygen demand. *Environmental Geology*. Encyclopedia.
- Cada, G. F., Sale, M. J., & Dauble, D. D. (2004). *Hydropower, environmental impact of* (No. PNNL-SA-38065). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).
- Camargo, J. A., Alonso, A., & Salamanca, A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58(9), 1255-1267.
- Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A., & Wilson, A. E. (2013). Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. *Nature Education Knowledge*, 4(4), 10.
- EPA. (2009). National recommended water quality criteria. United States Environmental Protection Agency', Office of Water, Office of Science and Technology.
- Hoyer, M. V., Donze, J. L., Schulz, E. J., Willis, D. J., & Canfield Jr, D. E. (2006). Total coliform and Escherichia coli counts in 99 florida lakes with relations to some common limnological factors. *Lake and reservoir management*, 22(2), 141-150.
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., Van der Ploeg, M., ... & Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. *International soil and water conservation research*, 3(1), 57-65.
- Gerba, C. P. (2009). Indicator microorganisms. In *Environmental microbiology* (pp. 485-499). Academic Press.
- Huff, L., Delos, C., Gallagher, K., & Beaman, J. (2013). *Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia-freshwater*. Environmental Protection Agency. Washington: USA.
- Khan, S. & Ali, J. (2018). Oil and Grease. In *Chemical analysis of air and wáter*. (pp. 21-39). Elsevier, 2018.
- Lambou, V. W., Hern, S. C., Taylor, W. D., & Williams, L. R. (1982). Chlorophyll, phosphorus, secchi disk and trophic state. *Journal of the American Water Resources Association*, 18(5), 807-813.
- Lewis, W.M. Jr. 1987. Tropical limnology. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18: 158–184
- Lloyd, B. J. & Bartram, J. K. (1991) Surveillance solutions to microbiological problems in water-quality control in developing-countries. *Water Sci Technol* 24: 61–75.
- Neal, C. & Jarvie, H. (2005). Agriculture, community, river eutrophication and the Water Framework Directive. *Hydrol Process* 2005;19:1895–901.



- Pauer, J. J., & Auer, M. T. (2000). Nitrification in the water column and sediment of a hypereutrophic lake and adjoining river system. *Water Research*, 34(4), 1247-1254.
- Pavluk, T. & Vaate, A. (2008). Trophic index and efficiency. In Jorgensen, S. E. & Fath, B. D. (eds). *Encyclopedia of ecology*. (1ed). Elsevier. Oxford, UK.
- Rao, S. R. (2006). Waste Characterization. In Waste Management Series (Vol. 7, pp. 13-34). Elsevier.
- Reddy, V. R. (2011). *Economic Analysis of Health Impacts in Developing Countries*. Encyclopedia of Environmental Health, 197–206.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical*. Antioquia, Colombia. Editorial Universidad Antigua.
- Weigelhofer G., Hein T., Bondar-Kunze E. (2018) Phosphorus and Nitrogen Dynamics in Riverine Systems: Human Impacts and Management Options. In: Schmutz S., Sendzimir J. (eds) *Riverine Ecosystem Management*. Springer.
- Tang, Y., Yin, M., Yang, W., Li, H., Zhong, Y., Mo, L., ... & Sun, X. (2019). Emerging pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment. *Water Environment Research*, 91(10), 984-991.
- Thomas, M. M. & Beim, A. (1992). Lakes. In Chapman, D. (ed). *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2ed). UNESCO/WHO.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press.
- Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (2000). Dissolved oxygen. In *Limnological Analyses* (pp. 73-84). Springer, New York, NY.
- WHO (2020). Cyanobacterial toxins: Anatoxin-a and analogues; Cylindrospermopsins; Microcystins; Saxitoxins. Background In *Guidelines for Drinking-water Quality and Guidelines for Safe Recreational Water Environments*. World Health Organization.
- Wu, X., Hou, L., Lin, X., & Xie, Z. (2019). Application of Novel Nanomaterials for Chemo-and Biosensing of Algal Toxins in Shellfish and Water. In *Novel Nanomaterials for Biomedical, Environmental and Energy Applications* (pp. 353-414). Elsevier.